



HAL
open science

Calibration de jeux sérieux

Sam Mellier

► **To cite this version:**

| Sam Mellier. Calibration de jeux sérieux. Informatique [cs]. 2024. hal-04841405

HAL Id: hal-04841405

<https://inria.hal.science/hal-04841405v1>

Submitted on 16 Dec 2024

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.



Distributed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License



CALIBRATION DE JEUX SERIEUX

Rapport de Projet de Fin d'Études pour l'ENSE3

Tuteurs et tutrices:

Mathilde BOISSIER, de STEEP - INRIA,

Peter STURM, de STEEP - INRIA,

Serge FENET, de STEEP - INRIA,

Oana IONESCU, tutrice côté école.

Organisme d'accueil:

Laboratoire INRIA, équipe STEEP

655 avenue de l'Europe, Montbonnot-Saint-Martin (38)

Sujet non confidentiel

Remerciements

Un grand merci à Mathilde, Peter et Serge qui m'ont aidé, rassuré et poussé vers l'avant tout le long de mon stage. Merci aussi à toute l'équipe STEEP, c'est un groupe incroyable avec qui j'ai passé de bons moments et avec qui j'ai beaucoup appris. Merci à mes proches qui m'ont soutenu quand j'avais beaucoup de travail. Enfin, merci au public de la conférence de *jeux et enjeux 2024* avec qui j'ai eu beaucoup d'échanges constructifs.

Table des matières

| | |
|---|-----------|
| Remerciements | 2 |
| Table des matières | 2 |
| Glossaire | 3 |
| Liste des figures | 3 |
| Introduction | 4 |
| Les jeux sérieux, définition et conception | 5 |
| Définition et caractéristiques du jeu..... | 5 |
| Les jeux sérieux..... | 7 |
| Théorie liant divertissement et éducation..... | 7 |
| La simulation participative, les jeux de rôle: effets sociaux des jeux..... | 11 |
| Impacts des jeux sérieux et objectifs de calibration..... | 12 |
| Méthodes de conception et consensus..... | 13 |
| Calibration et équilibrage automatique | 17 |
| Jeux de dés et structure des jeux..... | 17 |
| Jeux de gestion, choix des joueurs et limites d'optimisation..... | 19 |
| Équilibrage de la tension du jeu grâce aux jeux compétitifs..... | 20 |
| Passage de systèmes continus à des systèmes discrets..... | 23 |
| Représentation de non-linéarités..... | 25 |
| Conclusion | 29 |
| Bibliographie | 30 |
| Annexes | 31 |
| Résumé | 37 |

Glossaire

INRIA: Institut National de Recherche en Informatique et en Automatique

STEEP: Soutenabilité, Transition, Environnement, Économie biophysique et Politiques locales

ENSE3: Ecole Nationale Supérieure de l'Eau, l'Énergie et l'Environnement

SEM: Système Énergétiques et Marchés

Liste des figures

| | |
|--|----|
| Figure 1 : Comparaison du pentagone de la ludicité et des six piliers de l'engagement..... | 6 |
| Figure 2 : Type ou degré d'engagement dans l'apprentissage..... | 8 |
| Figure 3 : Hypothèse centrale de l'entertainment-education..... | 8 |
| Figure 4 : Trois paradigmes de l'entertainment-education..... | 9 |
| Figure 5 : Tableau de caractéristiques des paradigmes..... | 10 |
| Figure 6 : Paradigmes des méthodes de conception..... | 11 |
| Figure 7 : Comparaison du jeu de rôle avec la simulation informatique..... | 12 |
| Figure 8 : Cadre ENCORE de l'approche CoOPLAGE..... | 13 |
| Figure 9 : Origines géographiques des approches de design dans la littérature..... | 13 |
| Figure 10 : Approches de conception qui supportent le développement de compétences.... | 14 |
| Figure 11 : Indicateurs pour classer des méthodologies de conception..... | 14 |
| Figure 12 : Développement du bas et haut niveau des méthodologies de conception..... | 15 |
| Figure 13 : Couches des méthodologies de conception et fréquence de leur utilisation..... | 15 |
| Figure 14 : Outils utilisés dans les méthodologies de conception..... | 16 |
| Figure 15 : Vitesse et type de rodage des méthodologies de conception..... | 16 |
| Figure 16 : Mécaniques de jeux de société et classification selon Rotenberg..... | 18 |
| Figure 17 : Les briques gameplay 3.0 de Julian Alvarez..... | 18 |
| Figure 18 : Jeux de gestion de ressources comparés..... | 19 |
| Figure 19 : Nombre de jeux en fonction du nombre de ressources..... | 20 |
| Figure 20 : Tableau des jeux symétriques compétitifs comparés..... | 21 |
| Figure 21 : Part de victoires et différences de scores selon le type d'équilibrage..... | 22 |
| Figure 22 : Ressenti des compétences des joueurs perdants après équilibrage..... | 23 |
| Figure 23 : Perception de la tension de la partie en fonction de l'équilibrage..... | 23 |
| Figure 24 : Donut de l'économie de Raworth..... | 24 |
| Figure 25 : Tableaux de résultats dépendant des entrées..... | 25 |
| Figure 26 : Pavages réguliers dans certains jeux..... | 26 |
| Figure 27 : Pavages semi-réguliers et irréguliers..... | 26 |
| Figure 28 : Dés communs dans les jeux de rôles papier..... | 27 |
| Figure 29 : Plateau de Tzolk'in: le calendrier maya..... | 27 |
| Figure 30 : Plateau de terraforming mars..... | 28 |

Introduction

J'effectue mon stage de fin d'études dans le laboratoire INRIA, traitant de mathématiques appliquées et d'informatique. Plus précisément, je suis dans l'équipe STEEP, une équipe interdisciplinaire qui a plusieurs axes de recherche. L'équipe travaille sur les risques systémiques globaux, sur les analyses de flux de matière et d'énergie et sur les questions de transition environnementale à l'échelle locale. Depuis quelques années, STEEP utilise les jeux sérieux comme outil de sensibilisation et de modélisation participative (Boissier et al., 2023, Borthomieu et al., 2022). Par exemple, un jeu de plateau est en développement pour sensibiliser aux flux biophysique d'un territoire en fonction de ses activités.

Le but du stage est de créer un outil informatique permettant de calibrer des jeux sérieux. Ce sujet vient de la problématique que rencontre l'équipe: un jeu sérieux est long à créer et une mauvaise calibration d'un jeu peut mener à manquer notre objectif. *Est-il possible de calibrer automatiquement les jeux?* L'enjeu de mon stage est donc d'étudier la calibration des jeux et d'automatiser le processus. Le sujet de mon stage est élargi, il traite des jeux sérieux en général et pas seulement ceux de STEEP.

J'ai commencé par étudier et coder des jeux de société simples puis j'ai augmenté la complexité pour identifier les freins à l'optimisation. En parallèle, j'ai fait un état de l'art de la recherche sur les jeux sérieux. A chaque obstacle rencontré, j'ai cherché des réponses dans la littérature. Pour mieux comprendre le jeu, j'ai aussi étudié les jeux de société du commerce. J'ai été bloqué à certains moments et j'ai trouvé des éléments de réponses à d'autres. Ce stage est très exploratoire et je vais présenter dans ce rapport les principaux résultats, obstacles et mon raisonnement. J'utilise fréquemment la première personne pour parler d'un point de vue situé.

Dans ce rapport, je commence par présenter le jeu sérieux, ses différentes formes, ses méthodes de conception et ses objectifs. La seconde partie montre mon raisonnement, mes recherches et les résultats du stage sur la calibration des jeux.

Les jeux sérieux, définition et conception

Pour comprendre ce que sont les jeux sérieux, il faut commencer par faire un état de l'art du domaine. Je vais commencer par définir le jeu, puis le jeu sérieux. Je vais étudier ses impacts et ses méthodes de conception. Mon objectif ici est, pour chaque point, de voir s'il y a un consensus ou s'il y a plusieurs façons de faire.

Définition et caractéristiques du jeu

Qu'est-ce qu'un jeu? Ludwig Wittgenstein a montré qu'il est impossible de donner une définition simple du terme de « jeu », bien que chacun d'entre nous soit capable d'en reconnaître un lorsqu'il en voit (Becu, 2020). D'autre part, Gilles Brougère commence par rappeler qu'il existe trois niveaux d'usage dans la langue française du terme "jeu" (Brougère, 2017). Le jeu comme matériel (une carte de jeu, une boîte de Uno, ...), le jeu comme système d'action: les règles d'un jeu, les instructions d'une activité ludique (ce sens correspond à «Game» en anglais) et enfin le jeu comme activité, c'est-à-dire « Jouer ». Gilles Brougère réfute l'idée d'une définition unique de l'activité de jouer qui risquerait de cloisonner la pratique en excluant de nouvelles formes. Le jeu est un hybride entre un objet physique, un système de règles et une activité.

Pour parler de jeu, il existe des grilles d'analyse où placer chaque jeu. Le sociologue Roger Caillois, a publié en 1958 *Les jeux et les hommes* où il propose six caractéristiques qui font d'une activité un jeu:

1. Une participation libre: à laquelle le joueur ne saurait être obligé sans que le jeu perde aussitôt sa nature de divertissement attirant et joyeux ;
2. Une activité séparée: circonscrite dans des limites d'espace et de temps précises et fixées à l'avance;
3. Une issue incertaine: dont le déroulement ne saurait être déterminé ni le résultat acquis préalablement, une certaine latitude dans la nécessité d'inventer étant obligatoirement laissée à l'initiative du joueur ;
4. Une activité non productive: ne créant ni bien, ni richesse, ni élément nouveau d'aucune sorte ; et, sauf déplacement de propriété au sein du cercle des joueurs, aboutissant à une situation identique à celle du début de la partie;
5. Des règles communes: soumise à des conventions qui suspendent les lois ordinaires et qui instaurent momentanément une législation nouvelle, qui seule compte;
6. Une activité fictive: accompagnée d'une conscience spécifique de réalité seconde ou de franche irréalité par rapport à la vie courante.»

Un jeu serait une activité fictive et engageante grâce à sa ludicité. Il prend place dans un cadre spatio-temporel défini et les participants partagent des règles

communes. J'ai croisé des points similaires dans mes recherches et on peut étudier leurs différences avec deux autres modèles: *six pillars of engagement* (Garris et al., 2002) et le *pentagone de la ludicité* (Brougère, 2005, 2010). Voici ces deux cadres et comment ils sont reliés:

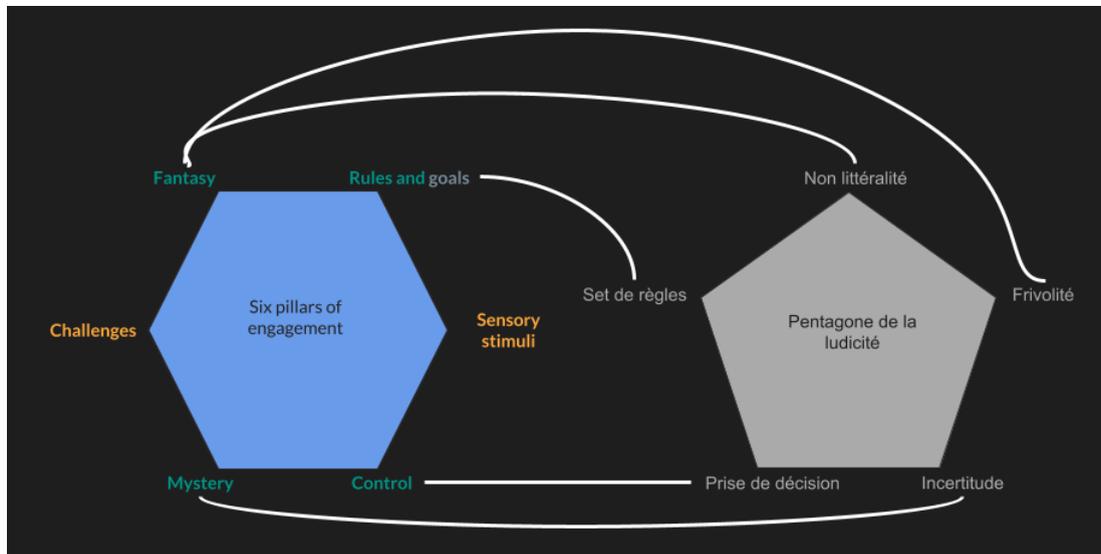


Figure 1 : Comparaison du pentagone de la ludicité et des six piliers de l'engagement

En comparant les trois modèles, certains aspects apparaissent communs et certains sont davantage des apports qu'un jeu devrait avoir pour être perfectionné. Tous les jeux ont un cadre de règles, une dimension de second degré par rapport à la réalité, une part d'incertitude sur le déroulé du jeu. Le contrôle et la prise de décision sont en partie ce qui sépare, par exemple, les jeux des films. Un film est non littéral avec la suspension d'incrédulité, il est incertain dans son déroulé. Selon Brougère, la prise de décision est même un des deux points qui fait l'essence d'un jeu avec la non-littéralité car c'est ce qui met en mouvement le joueur. Tandis qu'il est préférable mais pas nécessaire pour un jeu d'avoir un objectif clair, une difficulté adaptée aux joueurs et des stimuli sensoriels pour captiver les participants.

J'ai comparé des jeux de société que je connais le plus en fonction de leurs caractéristiques. J'ai regardé leur matériel, leur aspect compétitif, semi-coopératif ou coopératif, leur objectif pour les joueurs, leur placement dans le pentagone de la ludicité et s'il y a de la simultanéité de jeu entre les joueurs. Cette analyse ne m'a rien montré de pertinent. Les seuls résultats sont que tous les jeux se situent tous sur le pentagone de la ludicité et qu'il y a une tendance pour les nouveaux jeux à avoir de la simultanéité.

Or pour certains jeux, l'aspect ludique et engageant n'est qu'une partie de l'activité. Ils veulent aussi apporter autre chose que de l'amusement. Ces jeux capables d'aborder des sujets réels s'appellent les jeux sérieux.

Les jeux sérieux

Le jeu sérieux (serious game) est un oxymore permettant de faire ressortir cet aspect lié au réel d'un jeu censé par définition être non littéral. Les jeux sérieux sont les jeux ou dispositifs ludiques, dont la mission principale n'est pas que le divertissement. C'est un concept parapluie qui regroupe beaucoup de sous catégories. Les catégories courantes sont les suivantes¹:

- jeux publicitaires
- ludo-éducatifs
- Edumarket games
- jeux engagés
- jeux d'entraînement et simulation

Les catégories ne sont pas hermétiques et il existe d'autres taxonomies pour parler des différents jeux comme les jeux de société, les jeux vidéos, les jeux de ressources, les jeux de rôle, ... Tous pouvant être adaptés en jeux sérieux. Chaque jeu peut être un hybride de plusieurs catégories.

La majorité des jeux sérieux ont une structure commune et un facilitateur ou formateur qui accompagne le jeu. Un jeu sérieux commence par un briefing des règles et du jeu et du cadre, puis une phase de jeu et enfin un débriefing. Cette structure permet de créer le lien entre non-littéralité du jeu et réalité. Une séance de jeu sérieux peut être composée de plusieurs jeux différents ou d'itérations d'un jeu. Dans ce cas, cette structure peut être répétée plusieurs fois (Becu, 2020). Il est possible de considérer les itérations ou différents jeux comme un seul jeu, avec un briefing au début et un débriefing à la toute fin. Certains jeux éducatifs ou jeux avec un narratif spécifique n'ont pas cette structure, notamment certains jeux vidéo sérieux comme *Adibou* ou encore des jeux de société qui visent à apprendre des informations en second plan comme *Wingspan*.

Le jeu comme moyen de transmettre des savoirs, d'entraînement ou de développement de compétences s'inscrit dans le cadre de l'*entertainment-education*.

Théorie liant divertissement et éducation

L'éducation, la sensibilisation peut être l'objectif d'un concepteur de jeu sérieux et le divertissement un moyen de faciliter cette transmission de connaissances. C'est d'ailleurs l'un des deux types de jeux développés par l'équipe STEEP. Le divertissement va captiver l'attention du joueur et l'impliquer dans le jeu, c'est l'engagement. Il existe plusieurs niveaux d'engagement et l'objectif du concepteur va être d'atteindre le plus haut niveau possible.

¹ Page wikipédia des jeux sérieux: https://fr.wikipedia.org/wiki/Jeu_s%C3%A9rieux

| | | |
|--|-----------------------------|--|
| Engagement superficiel ou comportemental, provoqué par une motivation extrinsèque | Participer | Engagement par le fait de faire, de participer à l'activité |
| | S'impliquer | Engagement par le fait de s'impliquer dans l'activité en étant attentif et en ayant une attitude positive (l'implication peut se produire sans qu'il y ait un intérêt personnel à s'impliquer) |
| Engagement profond, motivé par un intérêt personnel et produisant une interaction psychologique profonde en rapport à l'expérience vécue | Être captivé | Engagement par le fait d'être absorbé psychologiquement par l'activité. L'implication n'est plus superficielle mais cognitive (correspond au processus d'immersion et au concept de « flow ») |
| | Émotionnel | Engagement émotionnel lié au fait de ressentir, lors de et par l'activité, des émotions fortes qui nous affectent au niveau affectif (émotion d'empathie, de colère, d'excitation, etc.) |
| | Affiliation (social) | Engagement social lié à l'identification et au sentiment d'appartenance de la personne à un groupe (l'engagement social est associé aussi à un engagement psychologique) |
| | Incorporation | Engagement par le fait de se sentir être dans l'activité, faire partie intégrante de l'activité. Cet engagement plein engage le corps, l'intellect et l'état émotionnel de l'individu. L'immersion transporte l'individu et l'expérience le transforme |

Figure 2 : Type ou degré d'engagement dans l'apprentissage (Becu, 2020, adapté de whitton et Moseley 2014)

Un compromis apparaît dans ce raisonnement. Plus une activité a pour objectif de transmettre des savoirs, moins cette activité est amusante, moins elle va captiver l'attention des participants et moins les participants vont apprendre de l'activité. Mais d'un autre côté, plus une activité est divertissante, moins elle contient de savoir car elle est faite pour divertir et non apprendre. Ce raisonnement est la base de l'hypothèse du divertissement modéré dans le concept du *entertainment-education*. (Ritterfeld et Weber, 2005). Cette hypothèse nous donne un point d'équilibre où il y a une complexité appropriée de savoirs à transmettre et assez de divertissement pour captiver l'attention.

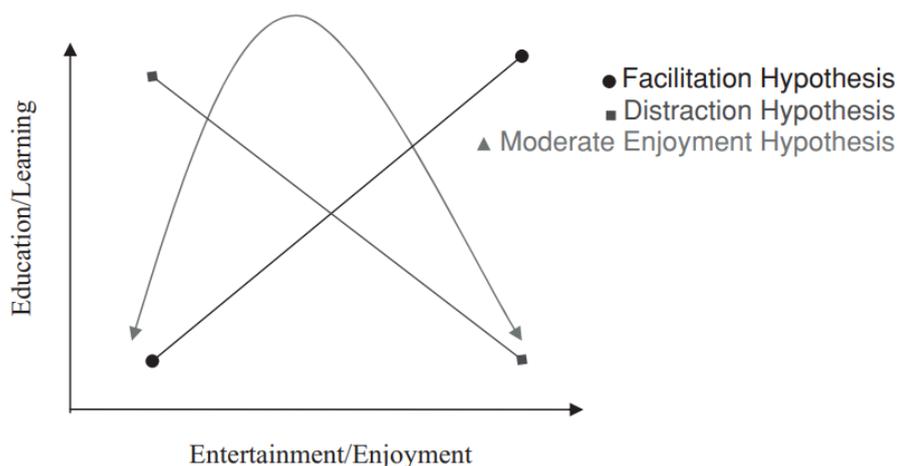


Figure 3 : Hypothèse centrale de l'entertainment-education

Selon certains papiers, cette hypothèse n'est pas encore assez étayée. Une méta-analyse des jeux sérieux décrit: "Several directions should be further developed, in particular, the study of the correlation between the pedagogical and entertainment level" (abdelali et al., 2016). De plus, le niveau approprié de divertissement va beaucoup dépendre de l'intérêt du participant pour le sujet et de

son niveau de compétence. Si l'intérêt est élevé, il vaut mieux dispenser un cours, une conférence ou un documentaire. Même si ces activités sont moins interactives, elles contiennent une plus grande densité d'information. Si le participant est repoussé par le sujet, même un jeu sera inefficace pour transmettre des savoirs, ou alors avec un très haut niveau de divertissement (Haring, 2011 preprint).

Les jeux sérieux sont donc adaptés à un public neutre voire intéressé par le sujet. Il est séduisant en comparaison avec d'autres modes d'apprentissage mais reste moins séduisant qu'un jeu classique. Dans les cas où les jeux sérieux restent une option utile, il existe trois possibilités pour associer divertissement et éducation.

Pour un public peu intéressé, il vaut mieux mettre le divertissement avant l'éducation, c'est le paradigme de l'engagement. Au contraire, si le public est intéressé, il vaut mieux mettre l'éducation avant le divertissement, c'est le paradigme de l'entraînement. Enfin, il est possible de lier les deux autrement, et de mettre les savoirs à transmettre dans les mécaniques du jeu, c'est le paradigme du mélange (Ritterfeld et Weber, 2005).

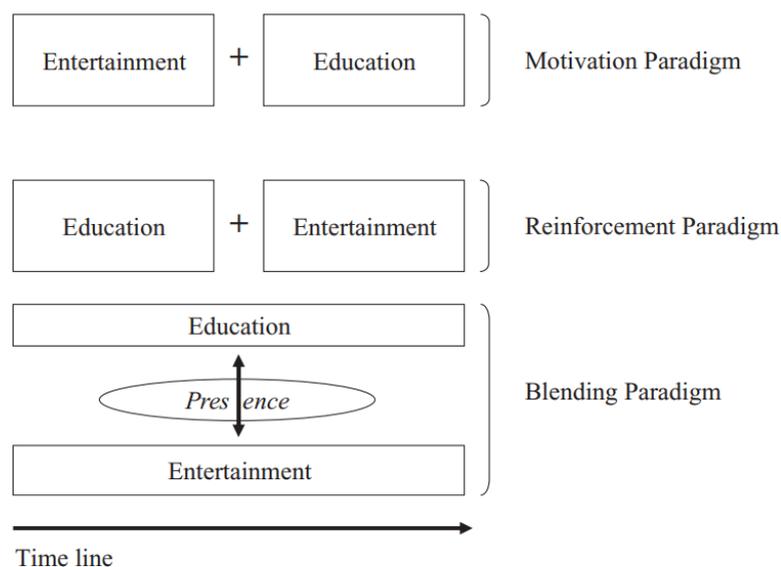


Figure 4 : Trois paradigmes de l'entertainment-education

Ces trois paradigmes aboutissent à des jeux différents et se sont montrés efficaces dans des domaines différents (Ritterfeld et Weber, 2005).

Le paradigme de l'engagement ajoute à un jeu classique des aspects sérieux. Par exemple, prenons un cours abordant beaucoup de nouvelles notions, il est possible de faire un *Times up* en version jeu sérieux. Le but du times up est de faire deviner à son équipe un mot avec des moyens différents: une description, puis des mots clés et enfin un mime. La subtilité est que les mots qui, dans le jeu classique, sont choisis par les joueurs sont les nouvelles notions du cours. Ce type de jeu peut aussi être un jeu vidéo classique avec des liens "pour en savoir plus" qui informe le joueur s'il le désire. Cette approche a fait ses preuves en termes d'engagement et

d'apprentissage pour la linguistique, l'éducation à la science et à la santé (Ritterfeld et Weber, 2005).

Le paradigme d'entraînement met des mécaniques de jeu dans l'apprentissage. Un exemple parmi ceux qui fonctionne le mieux est *Duolingo*. Cette application a pour but de faire apprendre différentes langues. Les exercices ressemblent à des exercices classiques de cours de langue, mais pour chaque bonne réponse, l'application donne une récompense virtuelle au joueur: de l'expérience, des objets, un son satisfaisant, des combos, ... Tous ces mécanismes activent le circuit de la récompense du joueur, ce qui pousse à rester concentrer et à avoir envie d'apprendre. Certaines études soulèvent cependant un point préoccupant. Sur le long terme, il serait possible que les individus déjà assez motivés à apprendre sans ces récompenses, pourraient avoir un baisse de motivation (Ritterfeld et Weber, 2005). Les résultats ne sont pas assez robustes pour l'affirmer selon l'étude.

Le paradigme du mélange entre éducation et divertissement est plus compliqué à mettre en place. Il demande de penser le jeu dès le début pour intégrer des mécanismes ludiques couplées avec les mécaniques du jeu représentant les concepts à apprendre. L'artéfact qu'est le jeu doit simuler la réalité tout en étant ludique. Le pari de ce paradigme est que le joueur va manipuler l'artéfact et apprendre par lui-même. Cette méthode permet de comprendre des problèmes plus complexes et de développer de nouvelles compétences (Ritterfeld et Weber, 2005). Mais un questionnement sur la calibration vient avec ce paradigme: Si le jeu vulgarise un système réel, quelles nuances à avoir entre changer son fonctionnement pour la ludicité et conserver une bonne traduction?

Voici un tableau qui résume les spécificités de chaque paradigme (Ritterfeld et Weber, 2005):

| | <i>Role of Game Play</i> | <i>Focus of Motivation</i> | <i>Educational Goal</i> | <i>Goal Communication</i> | <i>Model of Learning</i> |
|-------------------------------|--------------------------|----------------------------|-------------------------|---------------------------|--------------------------|
| <i>Motivation Paradigm</i> | Seduction | Intrinsic | Allocation of Attention | Explicit | Either or |
| <i>Reinforcement Paradigm</i> | Reward | Extrinsic | Practice | Explicit | Intentional |
| <i>Blending Paradigm</i> | Simulation | Intrinsic | Developmental tasks | Implicit | Incidental |

Figure 5 : Tableau de caractéristiques des paradigmes

Les méthodes les plus usitées de conception de serious game sont inscrites dans un des trois paradigmes. 14 des méthodes principales ont été étudiées et rangées selon leur paradigme (Abdelali et al., 2016)

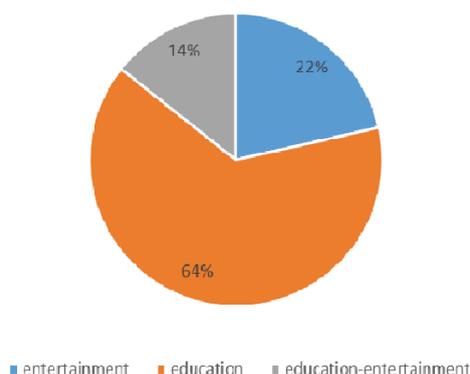


Figure 6 : Paradigmes des méthodes de conception

Ces résultats montrent que la plupart des méthodes de conception sont orientées vers de l'éducation. Cela ne veut pas dire que cette méthode est préférable, mais que la recherche s'y intéresse plus.

Il existe d'autres formes de jeux sérieux qui n'ont pas l'éducation comme objectif principal. Commençons par voir les simulations participatives.

La simulation participative, les jeux de rôle: effets sociaux des jeux

Une simulation participative consiste à faire tourner une simulation avec différents scénarios choisis par les participants permettant d'éclairer une situation ou faire des choix. Les informations de cette sous-partie viennent principalement de Nicolas Becu dans son HDR de 2020. La simulation doit reproduire au mieux la réalité et donner des indicateurs finaux pertinents pour son public. Dans ce type de jeu sérieux, la dimension de de frivolité est faible car la simulation est une projection du réel.

Les joueurs manipulent un artéfact qui représente la réalité dans ses mécanismes. L'objectif de la simulation participative n'est pas seulement d'apprendre le fonctionnement du système représenté par l'artéfact. Ce jeu peut avoir comme but principal des enjeux sociaux: faire discuter des groupes en désaccord, prendre des décisions en commun, réduire les relations de domination dans un groupe, ... Les compétences développées ne sont pas que individuelles et cognitives mais aussi collectives et sociales.

Les jeux de rôle sont une catégorie de jeux un peu à part. Il se définit par une activité où les joueuses et joueurs interprètent un personnage dans un monde défini par un facilitateur. Le personnage et le monde sont fictifs mais sont plus ou moins liés à la réalité, voire volontairement calqués au réel. Les personnages vont faire des actions décrites par les joueurs dans ce monde fictif. La narration de l'histoire et la situation du jeu dépendra donc des différentes narrations individuelles et des discussions des participants et du facilitateur. Les règles sont souvent définies à l'avance ou par un système de jeu général.

Par leur grande dimension interpersonnelle, les jeux de rôles sont efficaces pour développer des compétences sociales (Becu, 2020). Parmi ces compétences il

est question de changement de perception, de développement d'empathie, d'échanges sociaux et de prise de décision. Ces compétences peuvent aussi être mobilisées dans d'autres formes de jeux comme des jeux sérieux multijoueurs quelconque ou les simulations participatives, mais ces compétences seront présentes au second plan et sont rarement l'objectif même du jeu. Ici Nicolas Becu a développé un baromètre comparant les simulations informatiques et les jeux de rôle sérieux:

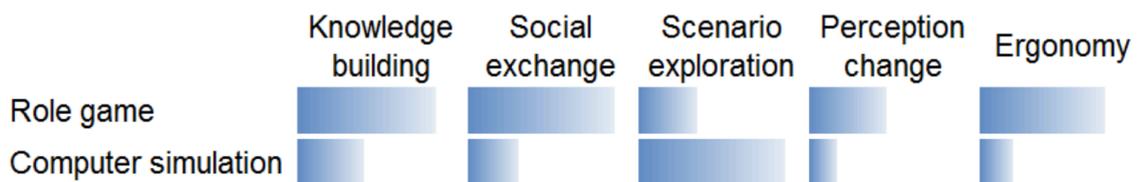


Figure 7 : Comparaison du jeu de rôle avec la simulation informatique

Cette analyse qualitative montre l'efficacité des jeux de rôle pour les changements de perception et les échanges sociaux. Une des limites du jeu de rôle est représentée sur l'exploration des scénarios car un jeu de rôle suit souvent un seul scénario. Une autre limite est que le facilitateur a une place centrale et peut influencer les décisions du groupe et l'histoire. Il existe quelques systèmes de jeu de rôles permettant plus d'explorations de scénario avec des boucles temporelles (un exemple est présent dans le podcast *Le Mythe de la Taverne saison 3*) mais le temps de développement reste long. D'autres permettent des narrations moins centrées sur le maître du jeu, mais personne n'est garant du réalisme. Il existe aussi des jeux de rôle à but éducatif. Sur le spatial, le collectif de *Game of Roles* a réalisé un partenariat avec le CNES comme un jeu sérieux éducatif et publicitaire. Le déroulé est en trois épisodes dont un débriefing appelé "debunk" qui sert à corriger les éventuelles erreurs du facilitateur.

Impacts des jeux sérieux et objectifs de calibration

Cette sous-partie résume et élargit les effets possibles des jeux sérieux déjà mentionnés. Pour montrer ces effets, voici le cadre ENCORE de la méthode d'évaluation des jeux ENCORE - MEPPP issue de l'approche CoOPLAGE (Hassenforder et al., 2023).



Figure 8 : Cadre ENCORE de l'approche CoOPLAGE

La liste de ces éléments peut être ce qu'un concepteur de jeu sérieux a comme objectif pour son jeu. Ce sont potentiellement des objectifs de calibration.

Méthodes de conception et consensus

Avant de commencer la création de l'outil de calibration, il est intéressant d'étudier les méthodes de conception des jeux sérieux existantes dans la littérature. Le milieu académique étudie les jeux sérieux pour développer certaines compétences. Des méthodes de développement de jeux sérieux sont publiées depuis les années 2000 (Gurbuz et Celik, 2022). Il existe des méta-analyse des utilisations de jeux sérieux dans certains domaines et des caractéristiques de certaines méthodes de design. Je commence par une vue large des méthodes de design relevées et analysées dans le papier: Serious games in future skills development: A systematic review of the design approaches - S. C. Gurbuz & M. Celik, 2022.

Le papier a sélectionné 32 méthodes de conception de jeux sérieux. La sélection est faite par mots-clés et recherche systématique, avec des filtres à plusieurs étapes. Voici leur répartition géographique des études:

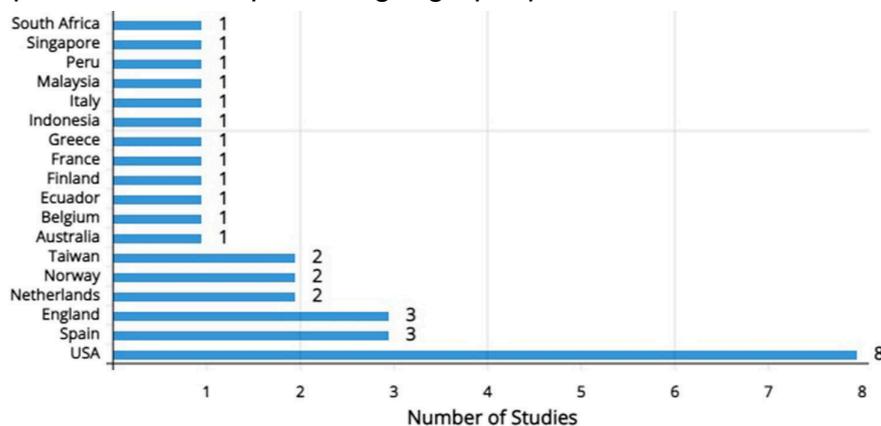


Figure 9 : Origines géographiques des approches de design dans la littérature

Ces représentations montrent un phénomène mondial quoique occidental en majorité.

Concernant les approches identifiées elles sont décrites comme suit: “These approaches include 14 frameworks, 12 models, and 5 methods/methodologies. One of the studies has not specified the type of the approach.” Dans ces approches, 22 des 32 sont spécifiquement faites pour l’éducation, 5 sont pour la santé et 2 pour le secteur militaire. Les trois dernières sont pour l’entraînement dans le tourisme, la prise de décision et la cyber-sécurité. Le domaine d’application est très large avec une majorité d’éducation. Seules 8 des 32 approches affichent un objectif de développement de compétences. Les compétences sont les suivantes:

| Future skills | Supporting studies |
|-------------------------------|--------------------|
| Creativity and innovation | - |
| Critical thinking | [34,104] |
| Problem solving | [34,51,54,104] |
| Learning to learn | - |
| Communication | [5,25,73] |
| Collaboration and teamwork | [5,34,36,73] |
| ICT literacy | - |
| Flexibility and adaptability | - |
| Initiative and self-direction | - |
| Social skills | [25,73] |

Figure 10 : Approches de conception qui supportent le développement de compétences

Les compétences les plus visées sont la communication et la résolution de problèmes.

Cette étude de 32 approches de design a aussi des tableaux avec les forces et faiblesse de chaque méthode de création de jeu. Toutes les méthodes sont considérées trop peu concrètes ou comprenant des étapes trop peu spécifiques pour guider le lecteur dans la création de son jeu selon les critères des auteurs.

Un autre papier a comme objectif de guider vers la plus adaptée des 14 méthodologies les plus citées en fonction de l’application voulue pour le jeu vidéo sérieux (abdelali et al., 2016).

Voici les onze aspects permettant de classer les méthodologies étudiées:

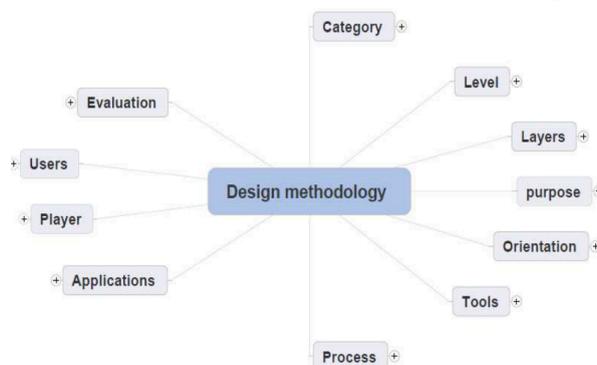


Figure 11 : Indicateurs pour classer des méthodologies de conception

Voici quelques catégories que j'ai trouvées pertinentes pour mieux comprendre les méthodes de design de jeux vidéo sérieux. Je vous conseille de lire le papier si d'autres aspects vous intéressent.

Level correspond au lien entre design bas et haut niveau, comme dans les langages informatiques. Un design bas niveau décrirait les mécaniques directes du jeu tandis qu'un langage haut niveau décrirait les concepts du jeu. Les deux niveaux peuvent être liés avec certaines théories comme celle du flow.

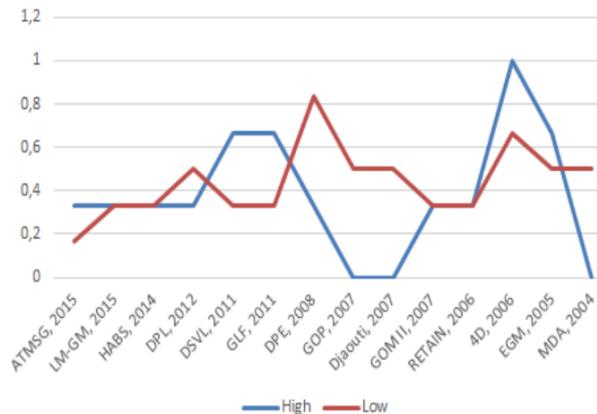


Figure 12 : Développement du bas et haut niveau des méthodologies de conception

Les deux approches haut et bas niveaux sont présentes. Mais les approches sont très éloignées. les niveaux vont de très bas avec le langage orienté objet à un texte descriptif. Cela sera utile dans la deuxième partie du rapport pour confectionner l'outil de calibration automatique.

Layers évalue quelles couches principales composant un jeu sérieux sont dans chaque méthodologies. Les strates considérées sont sur la figure suivante:



Figure 13 : Couches des méthodologies de conception et fréquence de leur utilisation

Cinq couches ressortent dans les méthodologies. Trois couches sont bas niveau: Le gameplay, la structure de jeu et le monde de jeu. L'éducation et la pédagogie sont souvent présentes ce qui semble normal pour le côté sérieux du jeu.

Enfin, l'histoire suivie dans le jeu qui est présente. Le reste des couches n'est pas souvent abordé.

Tool donne le ou les outils utilisés pour représenter la structure des jeux

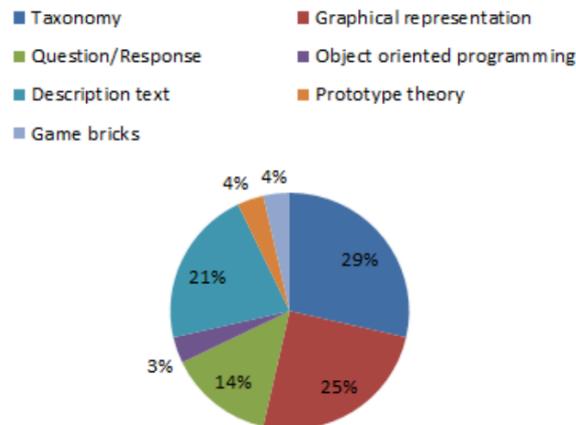


Figure 14 : Outils utilisés dans les méthodologies de conception

Les principaux outils sont:

- La taxonomie pour ranger les jeux par catégories
- La représentation graphique comme des diagrammes
- Les textes descriptifs
- Les questions-réponses

Process est le type de rodage des jeux issus de la méthodologie..

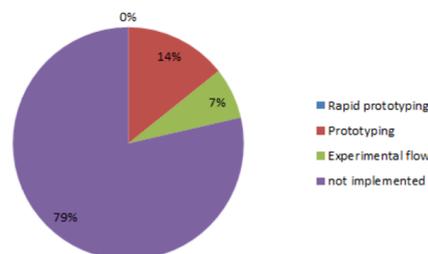


Figure 15 : Vitesse et type de rodage des méthodologies de conception

Tout d'abord, parmi ces 14 méthodologies, aucune ne permet d'obtenir rapidement un prototype. Cela semble être en accord avec le sentiment des chercheurs à qui j'ai parlé: Le jeu sérieux est un outil efficace mais long à créer. Les 79% de processus non implémentés dans les méthodologies signifie que la plupart ne spécifient pas la partie du processus de mise en place et laissent libre cours au concepteur.

Le jeu sérieux est donc un phénomène qui intéresse le monde académique depuis presque 30 ans. Ils peuvent avoir des objectifs très différents. Il n'y a pas de méthode de design qui soit meilleure que les autres, chacune a ses spécificités. Je vais maintenant décrire mon cheminement le long de mon stage pour calibrer automatiquement des jeux sérieux.

Calibration et équilibrage automatique

Maintenant que le jeu sérieux et ses objectifs sont définis, les objectifs d'optimisation le sont aussi. Mais, les objectifs sont trop larges et je vais commencer par des objectifs simples: avoir une certaine probabilité de gagner (calibrer la difficulté), avoir une condition sur la victoire (forcer à collaborer, imposer un choix décisif, ...) ou avoir une certaine expérience de jeu (gérer la tension du jeu, ...). Pour créer mon outil de calibration, je débute par un jeu simple, les lancers de dé.

Jeux de dés et structure des jeux

Le premier jeu consiste à lancer un nombre x de dés à y faces avec un seuil z à dépasser. L'objectif de calibration est d'avoir une chance prédéfinie de gagner p . Ce problème a une solution mathématique que me donne un premier code. En second code je fais un algorithme qui joue 10 000 fois chaque combinaison et qui me donne celle avec la probabilité de gagner obtenue la plus proche de p . Cet algorithme est robuste mais trop long pour des jeux plus complexes. Mon espace d'optimisation est grand mais tout de même réduit car il y a une fourchette finie de possibilité pour x , y et z .

En cours de SEM, nous avons fait de l'optimisation linéaire, mais dans le cas des jeux, il y aura certaines règles que nous allons ajouter ou non, ce qui correspond à de l'optimisation mixed integers. Certaines non linéarités vont aussi probablement entrer en compte.

Je décide donc de m'orienter vers de la swarm optimization qui consiste à un système multi agents qui cherchent dans l'espace des possibles. Mon troisième code est donc de la swarm optimization simple qui se base sur le dilemme de l'exploration-exploitation. Les résultats de cet algorithme sont satisfaisants et les trois codes donnent le même résultat à chaque fois. Mon tuteur Serge Fenet m'a aussi conseillé la méthode d'optimisation GRASP pour des espaces de recherche moins symétrique, ce qui me servira sûrement par le futur.

Un premier questionnement vient de ce travail. Si je veux généraliser mon outil à plus voire tous les jeux, comment faire une interface qui permette de décrire son jeu facilement, puis le traduire en langage informatique? Ici, je l'ai fait en langage python et il est possible de le faire en langage orienté objet. Mais cela implique de réécrire un code pour chaque mécanique de jeu, ce qui peut être long voire bloquant si l'utilisateur de l'outil ne connaît pas l'informatique. J'ai trouvé deux réponses dans la littérature et une en conférence.

Le premier moyen de montrer les mécaniques de jeu est simplement une liste. Dans le mémoire de Miguel Rotenberg, on peut voir la classification des mécaniques de jeux listées dans *board game geek* avec à l'époque une cinquantaine de mécanique et plus de 200 aujourd'hui.

| | | | |
|-------------------------------|-----------------------|---------------------------------------|---|
| 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 |
| | Pion | But du jeu | Contrôle ou influence de zones Encerclement de zones Connexions |
| | | Actions | Déplacement Élimination Capture Empilement Promotion Récolte / Semailles Conflit / Combat |
| | Gestion de ressources | Comportement ou fonction particulière | Pierre-feuille-ciseaux Chauffeur-livreur Lancer et déplacement Un pion pour tous |
| | | Accès | Enchères Draft Pool Building Pari |
| | | Spéculation | Transmutation de ressources Pousse ta chance Collection / Famille |
| | Gestion de l'info | Arrangement | Combinaisons Construction de patron |
| | | Production d'aléa | Lancé de dé Tirage ouvert Tirage fermé |
| | | Informations secrètes | Programmation Objectif secret Unité secrète |
| | | Gestion de main | Levées Défausse Carte-action |

| | | | |
|---|-----------|------------|---|
| Facette n°2 : Interaction entre joueurs | Rythme | Tours | Points d'action Quantité variable de tours Ordre variable de tours |
| | | Simultané | Frénétique Sans interaction Interruption |
| | Relations | Équipes | Jeu coopératif Rôle secret |
| | | Diplomatie | Alliances réglées Alliances non réglées Jeu semi-coopératif Commerce |
| | Ciblage | Asymétrie | Pouvoirs variables Handicap |
| | | | Affrontement direct Ciblage obligatoire Blocage Course stricte |

| | | |
|-------------------------|----------------------------|---|
| Facette n°3 : aptitudes | Compétences artistiques | Mime Dessin Narration Chant |
| | Compétences psychomotrices | Observation Rapidité Action / Dextérité Motricité fine |
| | Compétences de l'esprit | Mémoire Bluff Déduction Connaissances |

Figure 16 : Mécaniques de jeux de société et classification selon Rotenberg

Cette classification donne beaucoup de pistes pour représenter les jeux mais sa longueur est incompatible avec le temps que j'ai dans mon stage pour créer l'outil.

Une seconde manière de décrire les mécaniques de jeu plus simplement est dans les briques gameplay 3.0 de Julian Alvarez. Cette approche dite atomique du jeu consiste en 12 briques pouvant décrire un jeu par association et succession. Voici les 12 briques:

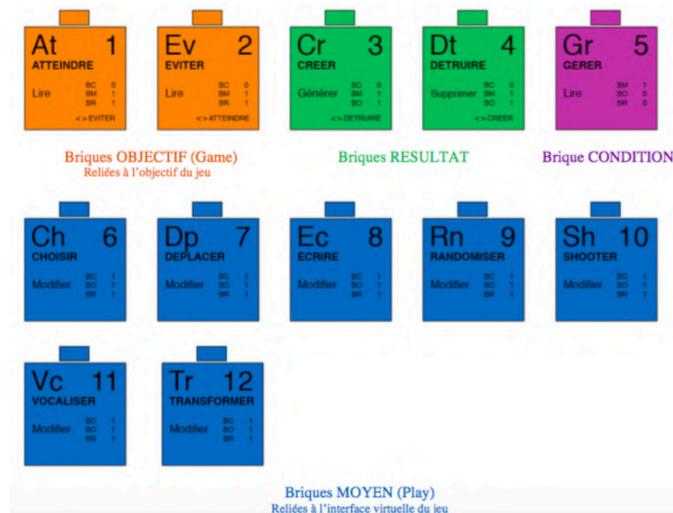


Figure 17 : Les briques gameplay 3.0 de Julian Alvarez

Ces briques peuvent s'associer pour former des molécules qui peuvent s'associer entre elles et ainsi décrire toute l'architecture du jeu. Cette fois-ci, il est plutôt simple

pour moi de les créer, mais demander à tous les utilisateurs de l'outil de reconstruire leur jeu avec ce système serait un effort trop important, surtout pour des jeux complexes.

J'ai assisté à une conférence sur les jeux sérieux à Montpellier, *Jeux & Enjeux*. Dans cette conférence, une partie de la communauté française des jeux sérieux a pour ambition de créer un manuel des mécaniques de jeu. La classification de ce manuel pourra probablement supporter ce travail de calibration automatique.

Maintenant que j'ai des pistes sur comment généraliser d'un jeu à un outil pour les jeux, je passe à un jeu plus complexe: Catan.

Jeux de gestion, choix des joueurs et limites d'optimisation

Pour simuler Catan, j'utilise toujours python. Mais dès le début, une question majeure se pose: Comment simuler les choix des joueurs? L'objectif d'une calibration est de mettre au point son jeu pour qu'il serve mieux l'objectif du concepteur. Un jeu mal calibré peut parfois avoir l'effet inverse. Utiliser des choix aléatoires est une possibilité pour l'optimisation, mais cela ne reflète pas la réalité et peut mener à une mauvaise calibration. Utiliser de l'apprentissage par renforcement pourrait donner un certain niveau au joueur virtuel pour qu'il corresponde mieux au niveau du public attendu. Mais certains choix des joueurs sont particulièrement liés à leurs valeurs, à leurs normes et à leurs émotions, plus souvent encore dans les jeux sérieux qui abordent des problèmes réels. Donner seulement un niveau ne suffit pas, il faut humaniser ces joueurs virtuels.

Je n'ai pas réussi à trouver une méthode correcte pour humaniser les joueurs mais voici quelques pistes. Nicolas Becu a créé un système multi agents basé sur l'habitus de Bourdieu (Becu, 2020). La théorie des jeux a créé des comportements d'agents très différents qui pourraient servir d'exemples d'agents. L'arbre min-max sert à simplement partir d'un choix aléatoire en enlevant les possibilités les moins crédibles. Une autre possibilité est de faire essayer le jeu dans pleins de configurations sur un site comme *Board Game Arena* et regarder les meilleures configurations mais cela prendrait beaucoup de temps et les joueurs voudraient vite arrêter de jouer à un jeu mal calibré. Enfin, il est possible de prendre un jeu proche sur ce même site et voir quels ont été les choix des joueurs ou quelle a été la calibration du jeu. Cette méthode soulève une autre question: à quel point certains facteurs de calibration sont sensibles pour passer d'un jeu à un autre avec la même calibration?

Malgré cet obstacle, j'ai continué cette optimisation, en comparant ces jeux:

| | | | |
|-------------|-------------|----------|-------------------------|
| Catan | 7 wonders | Agricola | Lords of Waterdeep |
| Little town | Res arcana | Splendor | Terraforming mars |
| Power grid | Puerto rico | Everdell | Les aventuriers du rail |

Figure 18 : Jeux de gestion de ressources comparés

J'ai choisi ces jeux de gestion à trois et plus de joueurs pour étudier certaines limites de perception, et les représentations des ressources dans les jeux de gestion plateau. Le tableau montrant les éléments comparés est dans l'annexe 1. Voici les résultats utiles à une calibration des jeux de gestion de ressource.

Dans l'analyse, 11 jeux sur 12 utilisent des points de victoire comme comparaison entre les joueurs pour désigner un gagnant. Les ressources primaires sont souvent représentées par un symbole évocateur de la ressource par exemple du blé sera un dessin jaune d'un épis. Lorsque l'on en fait des pions, ces ressources primaires sont l'extrusion en 3D des symboles 2D de la ressource. J'ai aussi comparé les ressources (hors indicateurs) des jeux pour voir s'il y avait une limite de perception. Voici le graphique montrant les résultats du nombre de jeux par nombre de ressources:

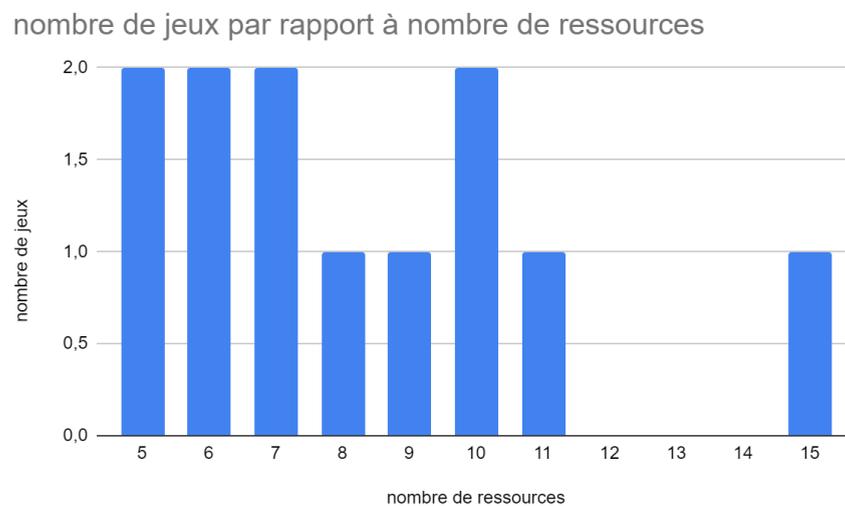


Figure 19 : Nombre de jeux en fonction du nombre de ressources

La plupart des jeux ont entre 5 et 11 ressources. Seul *Agricola* a 15 ressources mais c'est un jeu compliqué à prendre en main. De plus, s'il y a d'autres mécaniques de jeu que la gestion de ressources, le nombre de ressources est plus faible. Dans *Catan*, il y a des mécaniques de commerce assez avancées et le jeu a seulement 5 ressources différentes. Ce ne sont que des hypothèses et corrélations qui donnent des directions aux concepteurs.

Grâce à cette analyse, je peux cadrer mon optimisation à onze ressources maximum voire moins s'il y a d'autres mécanismes en jeu. Pour avoir d'autres pistes de mécanismes d'équilibrage, je me suis tourné vers les jeux compétitifs et comment est-ce qu'il gèrent la tension du jeu, l'engagement des joueurs.

Équilibrage de la tension du jeu grâce aux jeux compétitifs

La tension d'un jeu est très importante pour garder l'engagement des joueurs pour le jeu. J'ai croisé plusieurs écoles sur cette tension, certains pensent que la tension doit toujours augmenter au fil d'un jeu, d'autres pensent que la tension est

cyclique mais doit augmenter de tours en tours et certains pensent que la tension doit varier avec des pics et des creux. Cependant, la tension doit toujours être maximale à la fin du jeu.

Suite à l'analyse précédente, je me suis demandé si, pour équilibrer la tension d'un jeu, il existe des mécanismes dans des jeux du commerce. Pour cela, j'ai choisi des jeux compétitifs symétriques. Compétitifs pour voir comment les joueurs s'équilibrent entre eux et non le jeu face aux joueurs. Symétriques signifie ici qu'au départ, les joueurs ont accès aux mêmes moyens, outre le fait que certaines asymétries mineures existent comme une personne qui commence à jouer.

Voici les 20 jeux que j'ai comparé:

| | | | |
|-----------------|------------------|--------------------|----------------|
| Codenames | Jeux type échecs | Monopoly | 1000 bornes |
| Trivial pursuit | Puissance 4 | Catan | Petits Chevaux |
| Qui est-ce? | Bataille navale | Poker | Uno |
| Scrabble | Chifoumi | Richesses du monde | Cluedo |
| Petit Bac | Morpion | La bonne paye | 7 familles |

Figure 20 : Tableau des jeux symétriques compétitifs comparés

Dans ces 20 jeux, je me suis demandé: quelles mécaniques de jeu permettent d'éviter la polarisation? Ou comment rééquilibrer les joueurs au fil du jeu. J'en ai retiré quatre règles:

- Plus on est proche de gagner, plus il est difficile d'avancer (Uno, Codenames, Qui est-ce?, Bataille navale, Petits chevaux,...) et inversement, plus on est loin de gagner, plus il est facile d'avancer
- Plus on est proche de gagner, plus on est visible aux autres joueurs (Uno, Catan, Puissance 4, Morpion,...)
- Les perdants peuvent s'associer face aux favoris (Catan, 1000 bornes, Petits Chevaux, ...)
- Les stratégies dominantes s'équilibrent entre elles (7 Wonders, Catan, Chifoumi, ...)

On peut remarquer que les jeux basés sur l'accumulation de richesses ont pour but de polariser le jeu et je n'ai pas su en retirer de moyens d'équilibrer.

Ces mécanismes peuvent permettre de calibrer la tension du jeu sans forcément avoir besoin d'un algorithme pour optimiser cet équilibrage. Mais il existe beaucoup d'autres moyens d'équilibrer les niveaux des joueurs.

Dans quelques jeux de société, la difficulté est adaptée en informel. Par exemple un enfant qui s'associe à un adulte. Il y a aussi des joueurs qui se mettent un handicap pour que la compétition soit plus "juste".

Une autre méthode est de mettre plusieurs paliers de difficulté, ou plusieurs spécialités. C'est courant dans les jeux vidéo comme *Baldur's gate III*, mais aussi

dans le *Trivial pursuit* par exemple. Soit les niveaux de difficulté sont en fonction de l'âge, soit la possibilité de prévoir le domaine dans lequel on va être défié. La *fresque du climat* a adopté cette stratégie en créant une variante expert et une variante enfant. Cela lui permet de toucher un public plus ou moins sensibilisé au climat. Ces variantes permettent de se mettre soi-même au bon atelier pour apprendre le plus de choses. La fresque a également inspiré une multitude d'alternatives sur d'autres domaines : la fresque de l'alimentation, la fresque du renoncement, la fresque des féminismes, la fresque de l'eau, ... Les fresques sont devenues courantes comme outil de sensibilisation et archétype de jeu sérieux.

Enfin, certains jeux rejouables ou des jeux vidéo en temps réel peuvent s'adapter automatiquement aux joueurs. Dans un jeu mélangeant physique et dématérialisé, l'étude *Design strategies for balancing exertion games: a study of three approaches* - M. Jensen et K. Grønbaek, 2016 mesure l'effet de ces équilibrages. Après quelques tests témoins où le jeu oppose deux joueurs et la même personne gagne à chaque fois, on leur propose une parmi trois manières d'équilibrer le jeu. La première est physique, par exemple on demande sur un jeu de tir de tirer de plus loin. La seconde est explicite en disant que le joueur dominant doit faire un certain nombre de fois plus de points pour gagner. Le dernier point est l'équilibrage implicite où l'accord des joueurs n'est pas demandé et la difficulté va être adaptée en fonction du niveau du joueur mesuré. Voici le changement des scores et la différence de points moyenne entre les joueurs à la fin. DOM signifie le joueur dominant qui, sans équilibrage, gagne le plus souvent.

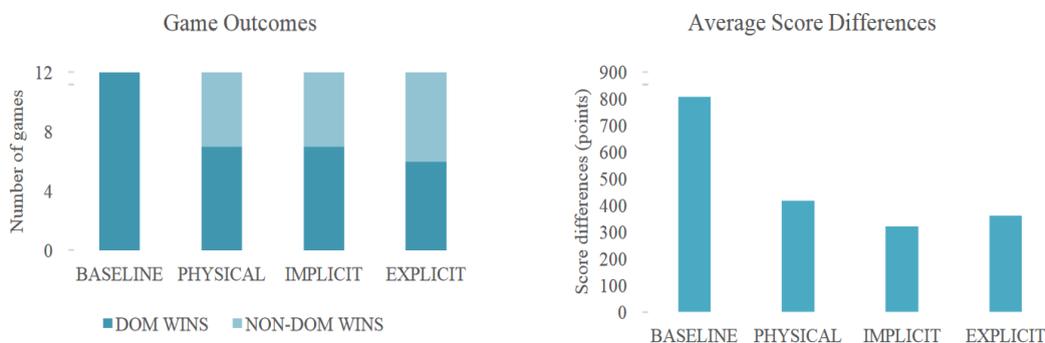


Figure 21 : Part de victoires et différences de scores selon le type d'équilibrage

En tendance, les trois équilibrages fonctionnent avec des victoires mieux réparties et des matchs plus justes.

Ensuite l'étude mesure la perception des joueurs sur le match car c'est ça qui compte pour captiver les joueurs dans un jeu:

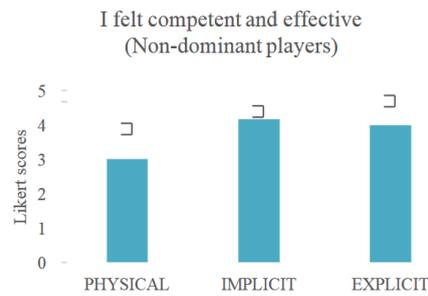


Figure 22 : Ressenti des compétences des joueurs perdants après équilibrage

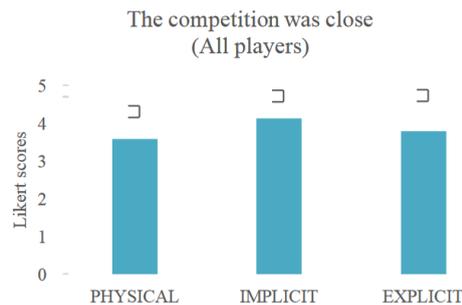


Figure 23 : Perception de la tension de la partie en fonction de l'équilibrage

Dans tous les équilibrages, les joueurs les moins forts sentent plus capables et tous les joueurs ressentent une compétition plus serrée. Il y a une différence entre l'équilibrage physique qui est moins efficace que le reste. Cependant ces équilibrages fonctionnent si le jeu est en temps réel ou rejouable, ce qui n'est pas forcément le cas dans les jeux sérieux. Il existe d'autres modes d'équilibrage informatique qui arrivent à rendre le jeu gagné de peu pour le plus de participants possible (Scanagatta et al., 2020).

Passage de systèmes continus à des systèmes discrets

Dans cette sous-partie, je propose un moyen de passer d'un système à un jeu. La première étape est de partir du problème et du public. Quelles sont les indicateurs et la grille de lecture à prendre en compte? Je propose ensuite une manière de faire qui me paraît cohérente, mais que j'ai eu le temps de tester sur un unique système en annexe 2.

1. Quelle limite au système?

Une première possibilité est d'utiliser des indicateurs courants dans l'étude des objets. Ce sont les ressources, pollutions, argent, moyens, ... Pour les enjeux socio-environnementaux, il existe la théorie du donut de Kate Raworth, un mélange entre limites planétaires et plancher social. C'est un cadre économique qui réunit les 9 limites planétaires et 11 indicateurs sociaux:

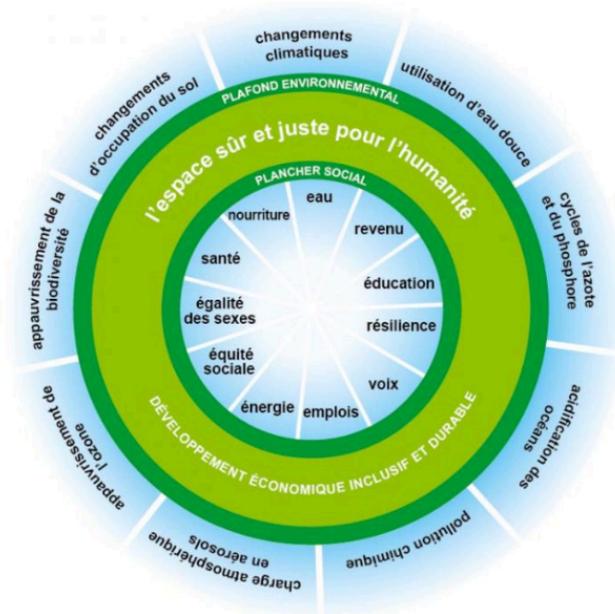


Figure 24 : Donut de l'économie de Raworth

Tous ces indicateurs sont reliés entre eux et cela dépend aussi du système que l'on étudie. Il est possible d'en enlever certains qui ne seraient pas pertinents pour l'enjeu abordé, ou d'en réunir certains autres sous un même nom pour simplifier.

Une autre manière de faire, si vous avez un public précis, est de demander aux participants ce qui compte pour eux dans le problème. Si ces indicateurs comptent pour les décisions des joueurs, il vaut mieux les mettre dans le système.

A partir des indicateurs choisis, on recompose le système à intégrer dans le jeu. On peut simplifier les relations marginales du système, qui ont peu d'impact global. Cela permet de faciliter la lecture de l'artéfact par les joueurs. Cette étape est faite selon les choix du concepteur et il faut que ces choix soient argumentés voire supportés par des analyses de sensibilité pour conserver un artéfact crédible aux yeux des joueurs.

2. Discrétisation du système

Ici je me concentre sur les jeux de ressources, les jeux de plateau ont des données discrètes. Dans les simulations et relevés de terrains faites pour comprendre le système, les données sont souvent continues. Il faut donc rendre ces données continues discrètes. Ce travail demande un va et vient entre la mise en place des mécaniques de jeu et la simplification du système. Si l'on se rend compte qu'une mécanique de jeu utilise une mécanique de nexus qui a été simplifiée, il est possible de revenir sur la simplification.

Il existe plusieurs moyens de discrétiser un système, en voici deux. Le premier est l'approximation à l'entier le plus proche puis la vérification de la cohérence du système s'il y a une loi de conservation. Le second moyen est de regarder toutes les relations entre les ressources impliquées. On prend la relation avec le plus grand ratio entre la plus grande et la plus petite ressource ou flux. On définit ce plus petit flux sur 1 unité et ainsi on définit toutes les valeurs entières de la

ressource. En fonction des liens entre les ressources, il est possible de faire cela en cascade ou en séparé. Je vous propose de regarder l'exemple en annexe 2 pour y voir plus clair.

Parfois, il arrive que de petites flux soient très sensibles et non simplifiables dans le système, mais cela donne des échelles de ressources entre 1 et 1000 par exemple. Dans ce cas, je vois deux solutions. Soit instaurer une échelle logarithmique, soit séparer le flux en deux ressources distinctes. Maintenant, le système est discrétisé, mais comment le représenter dans un jeu? Et plus particulièrement sur un point bloquant, comment représenter des non linéarités et des seuils dans un jeu?

Représentation de non-linéarités

Parfois certaines relations sont non-linéaires. Par exemple, les seuils sont présents dans les systèmes socio-environnementaux. Un système aura un comportement linéaire, mais à l'approche d'un seuil son comportement sera totalement différent. Alors comment représenter ces seuils et ces non-linéarités dans les jeux sérieux? Pour obtenir des pistes, j'ai cherché dans les jeux et voici quelques moyens:

Les tableaux

Le principe est de mettre des entiers en face d'autres entiers. Cette solution fonctionne, mais elle rappelle les abaques. C'est souvent compliqué à comprendre et peu ludique.



Figure 25 : Tableaux de résultats dépendant des entrées

A gauche c'est une matrice contenant des seuils à atteindre en fonction des caractéristiques du personnage et de la situation dans *donjons & dragons*. Au milieu c'est le nombre de points en fonction de la longueur de la ligne de trains posée dans *Les aventuriers du Rail Europe*. A droite, ce sont les cartes personnages de *Betrayal at the House on the Hill*. Les indicateurs ne varient pas forcément d'un point par cran. A gauche il est représenté des seuils de victoires selon plusieurs critères. Au milieu c'est simplement une fonction à une variable et une sortie. Et à droite on a quatre fonctions indicateurs et leurs variations pour une perturbation unitaire.

Les pavages

Les pavages sont des découpages du plan. Les plus utilisés sont les pavages réguliers et certains jeux les utilisent pour discrétiser le plan. Il existe trois pavages réguliers:



Figure 26 : Pavages réguliers dans certains jeux

Les pavages triangles, carrés et hexagonaux servent souvent à faire de l'exploration du plan. Il est possible de suivre les arêtes comme dans *Catan*, ou de suivre les aires pleines comme dans le *Scrabble*. En termes de limites du plan, il est possible de ne pas en poser comme pour le *triomino*, ou d'en mettre une comme les deux autres.

De cette manière, l'exploration dépendra des règles du jeu, mais il est possible de faire ressortir quelques fonctions. Les fonctions sigmoïdes sont présentes dans l'exploration des plans finis. Les pavages sur des plans infinis créent une sorte d'exponentielle: poser un triangle au triomino bloque l'arête utilisée mais en fait apparaître jusqu'à deux nouvelles. Cependant, ce ne sont pas des fractales et parfois poser un triangle entre trois triangles va juste bloquer trois côtés sans en ouvrir. Enfin, en annexe 2, j'ai utilisé le pavage triangle pour représenter la fonction racine carrée. Pour des fonctions plus exotiques, il existe d'autres forme de pavages, dont 8 semi-réguliers et beaucoup d'irréguliers:

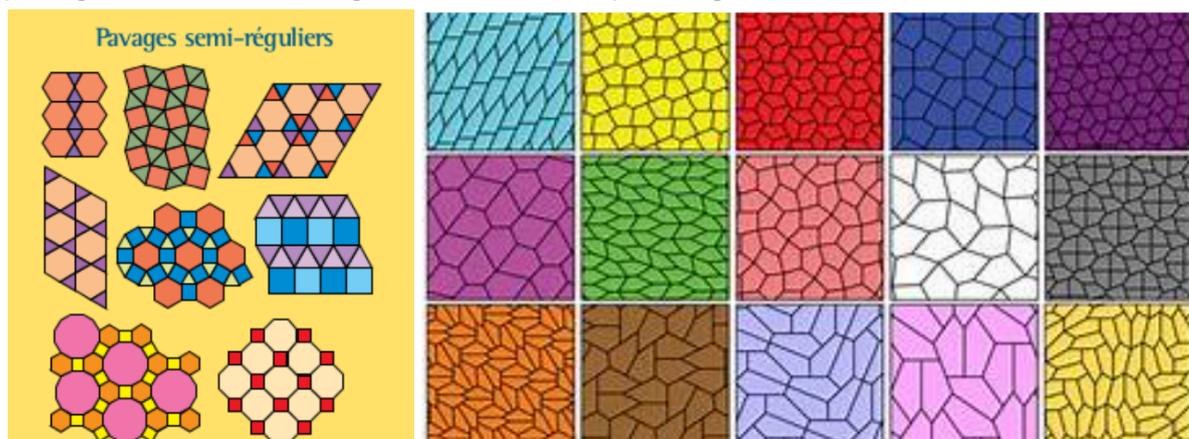


Figure 27 : Pavages semi-réguliers et irréguliers

Ces pavages rares pourraient piquer la curiosité des participants en plus de représenter certaines fonctions.

Les tirs de dés

Tirer un dé donne une chance égale pour chaque score. Tirer deux dés et les sommer donne une probabilité en distribution triangle. Tirer trois dés ou plus donne une gaussienne. Ces mécaniques peuvent servir à représenter des incertitudes de notre système. Le principal problème ici est la précision des dés trop faible, même s'il existe pleins de dés aux formes et nombre de face différents (figure 28). Si la ressource manipulée est présente en grand nombre d'unités dans le jeu, alors il y a une combinaison de plusieurs dés qui se rapprochera le plus. Voici les dés souvent utilisés en jeu de rôle, en plus de la pièce de monnaie qui est un dé à deux faces.



Figure 28 : Dés communs dans les jeux de rôles papier

Les rouages et les fonctions périodiques dans *Tzolk'in: Le Calendrier Maya*



Figure 29 : Plateau de *Tzolk'in: le calendrier maya*

Ce jeu de plateau utilise une mécanique que je trouve compliquée dans son fonctionnement car il y a au moins trois fonctions de périodes différentes. Mais sa représentation le rend beaucoup plus clair. Je pense que si le système est périodique, ces rouages sont une excellente idée de représentation.

L'engine building

Ce mécanisme permet de simuler un objet qui évolue. Le joueur a un objet initial et il le change chaque tour. Il peut le rendre plus productif, le spécialiser, lui ajouter de la résilience, ... Ce type de jeu amène à ressentir l'évolution et offre une large palette de stratégies possibles. Ici, la fonction représentée dans le jeu a plusieurs variables et plusieurs résultats. C'est un bon moyen de traduire certaines parties complexes d'un système et il devrait être possible de le représenter avec une suite de vecteurs.

Seuils et représentations

Les seuils peuvent être directement présents sur les indicateurs comme dans *Terraforming Mars*, un jeu de plateau avec deux indicateurs et des seuils:



Figure 30 : Plateau de terraforming mars

Au *Monopoly*, il est possible d'hypothéquer ses cartes. C'est équivalent à avoir un comportement différent d'une même fonction de production dans un régime spécial décidé par le joueur. Un exemple serait une fonction "Champs" peut avoir un verso différent comme "jachère" ou "sécheresse".

Dans *Catan* et d'autres jeux, le nombre de cartes en main n'a pas de limite fixe. or si le joueur en a plus de 7 dans sa main, il a une chance sur 6 à chaque tour de devoir défausser la moitié de ses cartes. Il y a donc un seuil à 7 cartes.

Finalement, un seuil courant est le vote à la majorité d'un groupe. Ce système est présent dans *Le loup-garou de Thiercelieu* lors du vote du village.

Les mécanismes et représentations présentés dans cette partie peuvent aider les concepteurs. La perception des joueurs est aussi un point important que j'ai pu aborder par manque de temps et de place dans ce rapport.

Conclusion

Durant ce stage, je me suis demandé comment calibrer automatiquement des jeux sérieux et trois questions restent en suspens. Si le jeu vulgarise un système réel, quelles nuances à avoir entre changer son fonctionnement pour la ludicité et conserver une bonne traduction? Quel formalisme adopter pour décrire au mieux les jeux à l'aide d'un langage informatique? Et enfin, comment simuler au mieux les actions des joueurs? Chacune de ces questions est difficile à répondre et demande un grand travail de recherche qui pourrait suivre ce stage. J'ai ensuite cherché à aider le concepteur à calibrer leurs jeux avec des comparaisons, de la recherche de littérature et des idées de représentations et de conceptions. Lors de la conférence *Jeux & enjeux 2024*, j'ai présenté mon travail à une partie de la communauté des jeux sérieux et j'ai demandé comment ils calibrent leurs jeux. Il en ressort qu'il n'y a pas une méthode qui fasse consensus, et qu'il faut faire au cas par cas.

L'univers du jeu sérieux est très vaste. Les approches de création des jeux, leurs grilles de lecture et les apports des jeux sérieux sont très divers. Aucun cadre ne fait consensus. Cela m'a posé des problèmes lors de mes recherches, mais c'est aussi une force des jeux. Le domaine peut s'adapter à un nombre très large de situations et la limite des jeux est celle de l'imagination des concepteurs et des joueurs.

Bibliographie

- Abdelali, Slimani, Sbert Mateu, Boada Imma, Elouaai Fatiha, et Bouhorma Mohammed. 2005. « IMPROVING SERIOUS GAME DESIGN THROUGH A DESCRIPTIVE CLASSIFICATION : A COMPARATION OF METHODOLOGIES ». . *Vol.*
- Alexandre, Borthomieu, Berthe Antonin, et Fauste Léon. « Global Systemic Risks Fresco - GRSF ».
- Becu, Nicolas. 2020. « Les courants d'influence et la pratique de la simulation participative: contours, design et contributions aux changements sociétaux et organisationnels dans les territoires ».
- Boissier, Mathilde, Vincent Jost, Mathieu Mangeot, et Léa Viénot. 2023. « DESIGNING SERIOUS GAMES TO UNDERSTAND THE CHALLENGES OF THE ANTHROPOCENE ». *Proceedings of the Design Society* 3: 1397-1406. doi:[10.1017/pds.2023.140](https://doi.org/10.1017/pds.2023.140).
- Brougère, Gilles. 2017. « Qu'entendre par jeu dans l'enseignement et l'apprentissage des langues : diversité des situations et des modalités d'apprentissage ». *Recherche et pratiques pédagogiques en langues de spécialité - Cahiers de l'APLIUT* (Vol.36 N°2). doi:[10.4000/apliut.5652](https://doi.org/10.4000/apliut.5652).
- De La Ville, Valerie-Inès, Gilles Brougère, et Nathalie Boireau. 2010. « How Can Food Become Fun? Exploring and Testing Possibilities ... » éd. Simona De Iulio. *Young Consumers* 11(2): 117-30. doi:[10.1108/17473611011065809](https://doi.org/10.1108/17473611011065809).
- Felicia, Patrick, éd. 2011. *Handbook of Research on Improving Learning and Motivation through Educational Games: Multidisciplinary Approaches*. IGI Global. doi:[10.4018/978-1-60960-495-0](https://doi.org/10.4018/978-1-60960-495-0).
- Garris, Rosemary, Robert Ahlers, et James E. Driskell. 2002. « Games, Motivation, and Learning: A Research and Practice Model ». *Simulation & Gaming* 33(4): 441-67. doi:[10.1177/1046878102238607](https://doi.org/10.1177/1046878102238607).
- Gurbuz, Suleyman C., et Metin Celik. 2022. « Serious Games in Future Skills Development: A Systematic Review of the Design Approaches ». *Computer Applications in Engineering Education* 30(5): 1591-1612. doi:[10.1002/cae.22557](https://doi.org/10.1002/cae.22557).
- Hassenforder, Emeline, Anne Dray, et William's Daré. 2020. *Manuel d'observation des jeux sérieux*. Montpellier, France: ComMod; CIRAD. doi:[10.19182/agritrop/00113](https://doi.org/10.19182/agritrop/00113).
- Hassenforder, Emeline, Nils Ferrand, Raphaëlle Ducrot, Caroline Lejars, et Wanda Aquae-Gaudi. « Recherches participatives et démarches participatives dans des projets de recherche : des pratiques et des attendus différents ? Exemple de l'approche CoOPLAGE ».
- Jensen, Mads Møller, et Kaj Grønbaek. 2016. « Design Strategies for Balancing Exertion Games: A Study of Three Approaches ». In *Proceedings of the 2016 ACM Conference on Designing Interactive Systems*, Brisbane QLD Australia: ACM, 936-46. doi:[10.1145/2901790.2901843](https://doi.org/10.1145/2901790.2901843).
- Ritterfeld, Ute, et Rene Weber. 2005. « Video Games for Entertainment and Education ».
- Scanagatta, Mauro, Michela Ferron, Giulia Deppieri, et Annapaola Marconi. 2020. « Calibration of Game Dynamics for a More Even Multi-Player Experience ». In *Proceedings of the 25th International Conference on Intelligent User Interfaces*, Cagliari Italy: ACM, 443-53. doi:[10.1145/3377325.3377521](https://doi.org/10.1145/3377325.3377521).

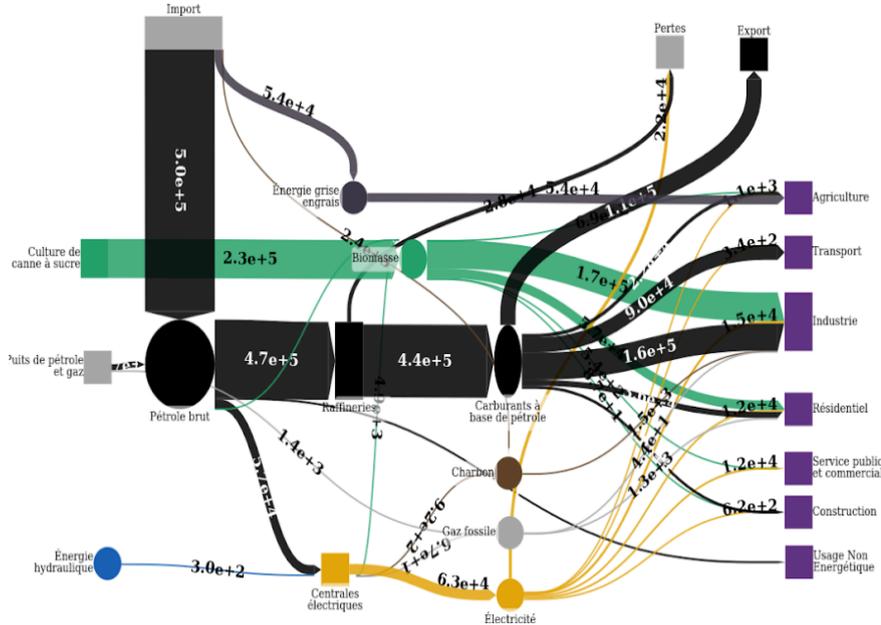
Annexes

Annexe 1: Tableau comparatif de jeux de gestion à plus de trois joueurs

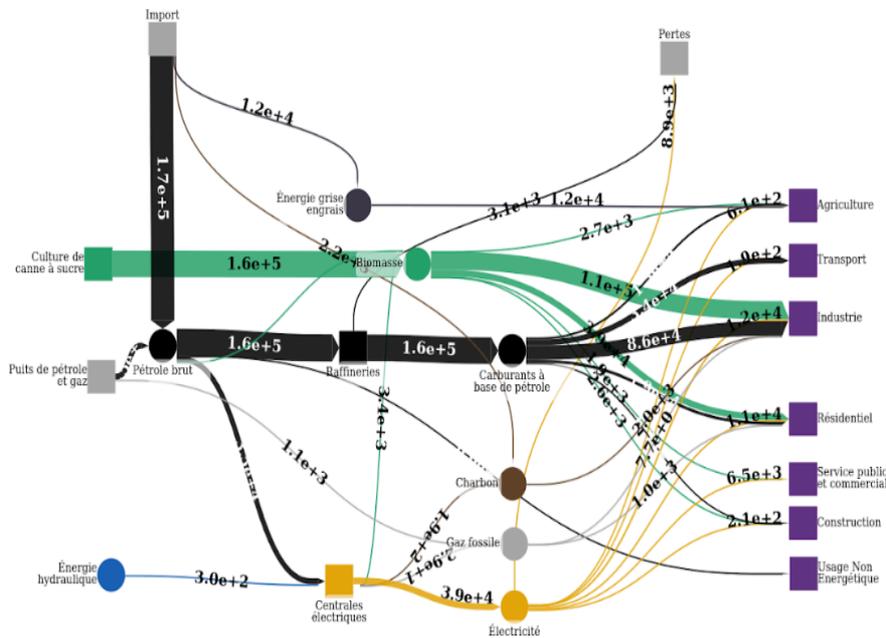
| Titre | Nr p | Nr-Nrp | Fonctions visibles | Commerce | Limite fin du jeu | Différentiation |
|---------------------------------|------|---|---|--------------------------|--|---|
| Catan | 5 | 4-5 | 4+ports (9) | oui, accord | 10 pv | carte, images et symboles |
| 7 wonders | 8 | 0-bcp | 7 à 2 | oui, proches sans accord | fin tours | carte, images et symboles |
| Agricola | 9 | 6 3 jetons, 3 liés joueur) | 27 (10 cartes 17 cases plateau) | non | fin tours | couleur, forme, congruence |
| Little town | 4 | pieces (argent or) | 13 | oui, sans accord | fin tours | couleur, forme, congruence |
| Res Arcana | 5 | 0 | 7 | non | 10 pv | carte-images, taille, formes et couleur congruantes |
| Splendor | 6 | 0-bcp | 16 | non | 15 pv | couleur, composition, congruence + cartes |
| Power grid | 4 | argent+2 | 4 (+ 4 visibles non achetable), 8 en phases 3 | non sauf enchères | tours et conditions | couleur congruante, cartes images |
| Everdell | 4 | 2 (écureuils, marqueurs) | 8+4 communes, 6-8 cartes perso | non | 15 tours | formes, couleur, plateau 3D, |
| Aventuriers du rail usa/ europe | 9 | 2 (wagons et gares) | 5 + pioche | oui sans accord (gare) | plus que 2 wagons | cartes images, formes |
| Terraforming mars | 5 | 5 (argent, nv terraf., tuiles villes, ocean, forêt) | 10 début, 16 max | non | finit lorsque oxy, temp au max et ous océans posés | marqueurs bronze argent or pour chaque ressource, aspect, taille, couleur |
| Lords of waterdeep | 4 | 3 or,agents pv | 10 à 14 puis 1,4,3 | non | 8 tours | couleur, cartes images pr Fp et pions agents |
| Puerto rico | 5 | 5 (pièces 1;5, colons, pv, 5 plantation s,carrière, navires | 7 puis 5/5/6/12 | non | plus de colons ou pv dans réserve ou plus de place bâtiments | forme, couleur, symbole, congruence pas de cartes mais cartons |

Annexe 2: Passage d'un système réel à un artéfact discret, le cas de Cuba

Le but de cette annexe est de tester les étapes de passage d'un nexus à un jeu à partir de l'exemple d'un nexus que l'on va beaucoup simplifier. Voici le diagramme de sankey des flux d'énergie à Cuba en 1989:



Puis voici les flux en 1993:



Toutes les unités des digrammes sont en équivalent TJ.

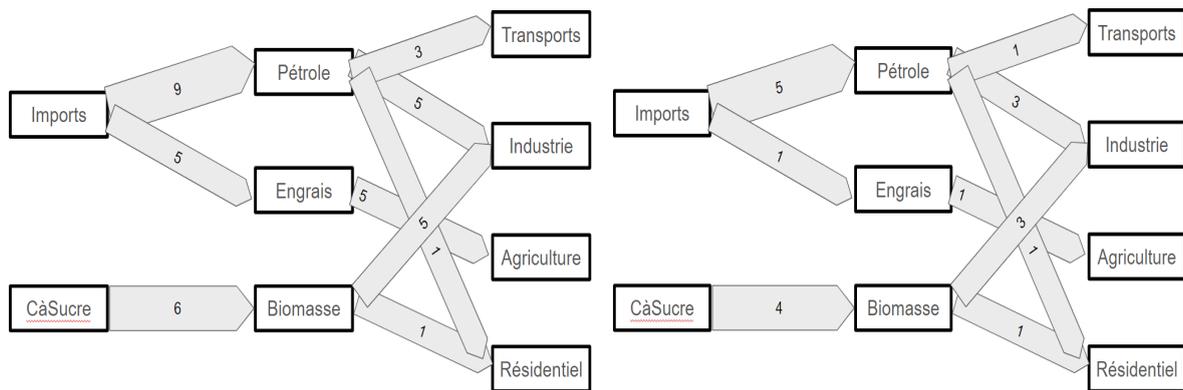
Suite à la chute de l'URSS, Cuba a été forcée de réduire sa consommation de pétrole et d'engrais venus de l'URSS. Prenons un but du jeu en tant que concepteur: montrer les dangers de la dépendance au pétrole et importations en général en prenant le cas de Cuba.

Je veux simplifier les diagrammes pour donner de la visibilité au jeu par rapport à la situation. En compilant les étapes 1 et 2 de la proposition de passage d'un Nexus à

un jeu, je néglige les flux les plus faibles et je définis une unité arbitraire (u.a.) à partir des flux de la ressource pétrole qui est celle avec le plus d'amplitude. 1 u.a. de pétrole représente $3.3 \cdot 10^4$ TJ cette unité représente environ ce que demande le secteur des transports ou du résidentiel en pétrole en 1993. Les flux étant séparés avec la canne à sucre et les engrais que j'ai choisi comme autres ressources, je définit aussi leur unité arbitraire de la même manière:

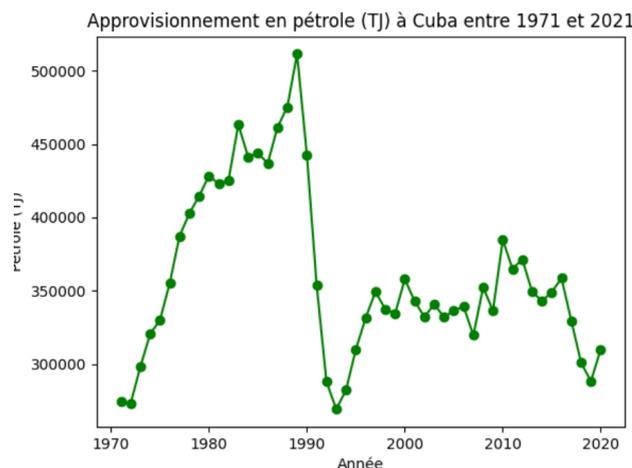
- 1 u.a. d'engrais représente $1.1 \cdot 10^4$ TJ
- 1 u.a. de canne représente $4.0 \cdot 10^4$ TJ

J'obtiens deux diagramme de flux simplifiés en discret: À gauche avant la chute de l'URSS et à droite après



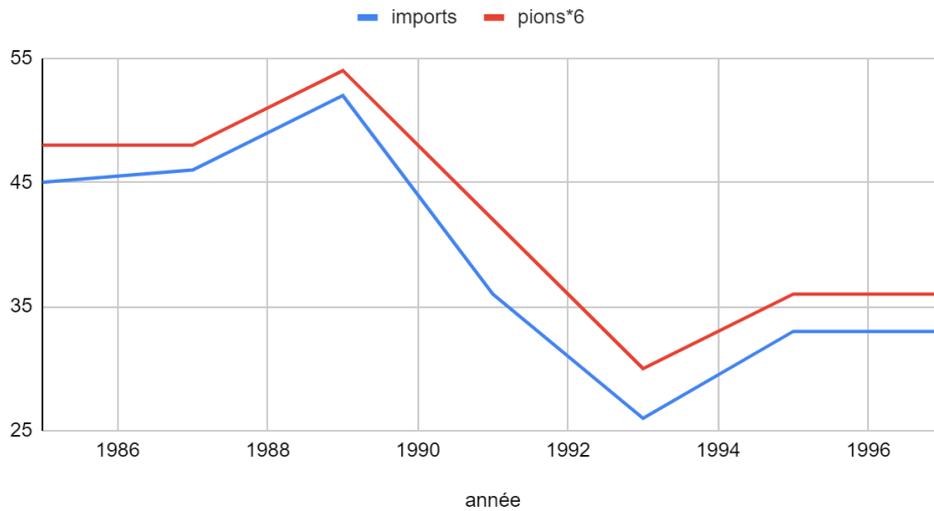
Les arrondis sont bien tombés, excepté les imports de pétrole en 1989 qui valaient 10, mais la valeur continue était proche de 9 avec les simplifications. J'ai choisi de la rabaisser à 9 pour conserver un système cohérent.

Voici l'évolution des approvisionnements de pétrole à Cuba:



Cette tendance nous permet de relier l'aspect dynamique du jeu à un aspect temporel de la réalité. J'ai fait le choix que chaque tour de jeu représentera deux ans. Il y aura un nombre de tours fixes couvrant les années 1985 à 1997 avec ces valeurs discrètes d'importation issues de la courbe ci dessus:

Imports réel et approximation discrète



Ce qui donne ces valeurs d'imports prédéfinies à chaque tour:

| Année | 1985 | 1987 | 1989 | 1991 | 1993 | 1995 | 1997 |
|---------|------|------|------|------|------|------|------|
| Pétrole | 8 | 8 | 9 | 7 | 5 | 6 | 6 |
| Engrais | 4 | 4 | 5 | 3 | 1 | 2 | 2 |

Maintenant on peut y ajouter des mécaniques de jeu. Je les applique sur les relations que je ne connais pas. Par exemple quels lien entre engrais répandus dans les champs et production de canne à sucre après?

Voici des propositions de ressources, indicateurs et fonctions de transformation que l'on pourrait intégrer:

| Ressources | indicateurs | Fonctions de transformation |
|---|--|---|
| Pétrole canne à sucre engrais sucre carburant | population niveau de vie exports | Agriculture Résidentiel Transports Industrie |

Voici quelques idées de mécaniques:

- Chaque fonction de transformation demande des ressources et influe sur les indicateurs et parfois les ressources

- A la fin de chaque tour, on regarde les indicateurs, et on applique ses effets en fonction du niveau de l'indicateur
- Possibilité d'introduire des points de victoire en fonction des indicateurs en fin de partie

Il est aussi possible, si certains mécanismes sont non-linéaires, d'introduire des mécaniques de jeu spécifiques:

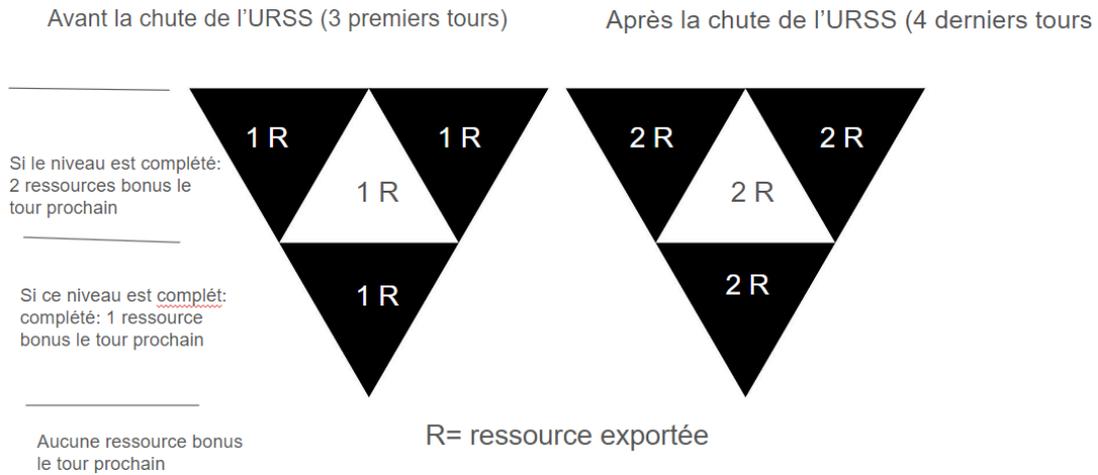
- Niveau de vie avec un seuil: seuil de vie digne, en dessous, il y a des malus
- Mécanique d'engine building pour montrer le retard de production des champs, leur besoins en engrais qui commence à grandir les années après la rupture
- Pour la productivité des champs, elle dépend de l'engrais toujours en terre, du travail fourni et des aléas climatiques. J'ai beaucoup simplifié les entrées de la fonction de production "agriculture" qui ne prend que l'engrais. Cela cache les autres mais rend le jeu plus simple. Pour l'aléa, prenons les dés de *betrayal at the house on the hill*, avec une probabilité égale de faire 0, 1 ou 2. Selon la quantité d'engrais que l'on va avoir sur le champ, on tire le même nombre de ces dés pour obtenir la quantité de canne à sucre l'année d'après
- Possibilité de développer un arbre de compétence sur un fonctionnement similaire à codex naturalis pour développer d'autres modes d'agriculture par exemple (agriculture urbaine, agroécologie, ...).
- Il peut aussi y avoir un système de niveau de vie de la population basé sur l'investissement dans l'agriculture, le transport et le résidentiel. Si on y investit respectivement 6, 2 et 3 fois, on obtient un niveau de vie rehaussé du minimum des trois indicateurs à savoir 2.

Exemple de mécanismes utilisant les pavages pour les imports/exports:

Si le système de répartition des ressources du régime communiste suivait à peu près la tendance d'une racine carrée, il est possible d'utiliser un pavage pour le représenter. Bien sûr, les liens des imports/exports de Cuba sont beaucoup plus complexes, j'utilise cette situation pour illustrer l'exemple des pavages.

Dans cette hypothèse, on peut considérer que pour une ressource exportée, on peut en importer une en plus au prochain tour. Pour quatre ressources exportées, on peut en importer deux au prochain tour, ... Et l'on peut prendre un pavage régulier triangle pour le représenter.

Mécanismes de pavages pour les imports/exports



Maintenant qu'on a un système cohérent pour un joueur, on peut essayer de voir les options pour en avoir plusieurs. Une possibilité est de se partager le territoire avec certaines personnes qui ont certains moyens et pouvoirs. Une autre possibilité serait de décider des actions au jugement majoritaire et de mettre des rôles cachés comme au loup-garou, twitch plays pokemon ou encore à undercover, ... le but étant pour la majorité de survivre au choc. Une dernière possibilité serait de mettre un territoire comme celui-ci à chacun et de permettre le commerce, forcer le partage. Si le jeu n'est pas collaboratif, on peut ajouter des mécaniques de handicaps ou autres. Il existe d'autres façon d'en faire un jeu multijoueur.

Avec cet exemple de Cuba, il reste à équilibrer le jeu et surtout le confronter au réel en faisant des tests de parties et son évaluation.

Résumé

Un jeu c'est amusant et ça peut apporter des compétences et des savoirs avec les jeux sérieux. Une tendance tend à utiliser cet outil dans le monde de la recherche, le monde associatif et à l'école. Mais un jeu c'est long à calibrer et s'il est mal fait, il peut manquer son objectif. Y a-t-il un moyen d'accélérer et d'optimiser ce processus? Les jeux sérieux peuvent-ils être calibrés automatiquement? Je vais proposer des réponses en m'appuyant sur la littérature scientifique de plusieurs disciplines. Je vais également comparer et m'inspirer des jeux du commerce. Je partage aussi mon cheminement dans le codage d'un outil informatique de calibration. L'objectif est d'avoir une vue d'ensemble sur ce sujet et d'apporter des éléments de réponse.

Je commence par comparer des grilles d'analyse des jeux, des définitions, des grammaires, des méthodes de conception. Cette partie permet de choisir un cadre adapté et de comprendre la théorie pour les jeux sérieux. Puis, face à la pluralité d'approches et de cadres, j'ai suivi des étapes pour créer un outil informatique de calibration. Enfin, je propose des mécanismes pouvant aider à la calibration des jeux sérieux sans informatique.

Abstract

Games are fun, and they can also bring skills and knowledge with serious games. There's a trend towards using this tool in the world of research, associations and schools. But a game takes a long time to calibrate, and if it's badly done, it can miss its target. Is there a way to speed up and optimize this process? Can serious games be calibrated automatically? I'll be proposing answers based on scientific literature from different disciplines. I will also compare and draw inspiration from commercial games. I'll also share my progress in coding a computerized calibration tool. The aim is to provide an overview of the subject and some answers.

I begin by comparing game analysis grids, definitions, grammars and design methods. This part enables us to choose a suitable framework and understand the theory behind serious games. Then, faced with the plurality of approaches and frameworks, I show my steps to create a computerized calibration tool. Finally, I propose mechanisms that can help calibrate serious games without using informatics.