

AGREGA GAME, un jeu à buts sérieux pour la compréhension et la gestion de l'économie circulaire des granulats à l'échelle régionale¹

AGREGA GAME, a serious game about understanding and managing the circular economy of aggregates on a regional scale

Jean-Marc Douguet^{1, 3}, Fenintsoa Andriamasinoro² et Philippe Lanceleur¹

¹ UMR 8079 ESE, Université Paris Saclay, France, Jean-Marc.Douguet@universite-paris-saclay.fr

² BRGM, Orléans, France, f.andriamasinoro@brgm.fr

³ Association ePLANTE.Blue, planceleur@gmail.com

RÉSUMÉ. L'approvisionnement de la France en granulats naturels est devenu un enjeu majeur, en raison de la hausse attendue de la consommation, aussi bien dans le domaine des bâtiments que des travaux publics, et des contraintes environnementales et sociétales que leur exploitation engendre. Le projet ANR AGREGA vise à développer une méthodologie et un outil de simulation opérationnel, pour une analyse prospective du marché des granulats à l'échelle des régions, sur 30 ans. Cependant, la question de l'acceptation des choix à effectuer reste prégnante.

Dans le cadre de ce projet de recherche et de programmes de formations au sein de l'Université Paris Saclay et d'UNILaSALLE, une démarche pédagogique innovante a été proposée pour développer des apprentissages collaboratifs. Elle repose sur une évaluation intégrée environnementale, qui vise la mobilisation d'une diversité d'outils pour la découverte, la simulation et la délibération autour de la problématique de l'approvisionnement en granulats. Elle s'appuie sur une démarche participative, dénommée INTEGRAAL, qui vise à engager les acteurs (ici, les étudiants) dans des dialogues relatifs aux décisions à prendre, individuellement et collectivement, concernant l'approvisionnement en granulats. L'innovation pédagogique tient aussi en l'opportunité d'enrichir les interactions entre les acteurs à l'aide d'un mur d'images stéréoscopiques, nommé MIRE (Mur Immersif pour la Recherche et l'Éducation).

ABSTRACT. The supply of natural aggregates in France has become a major issue due to the expected increase in consumption, both in the field of construction and public works, and due to the environmental and societal constraints that their exploitation generates. The ANR AGREGA project aims to develop a methodology and an operational simulation tool in order to conduct a prospective analysis of the aggregates market on a regional scale, over 30 years. However, the choices to be made have yet to be accepted.

As part of this research project and as part of training programs within the University of Paris Saclay and UNILaSALLE, an innovative pedagogical approach has been proposed to develop collaborative learning. It is based on an integrated environmental assessment, which aims to mobilize a variety of tools for discovery, simulation and deliberation around the question of the supply of aggregates. It is based on a participatory approach, called INTEGRAAL, which aims to involve actors (here, the students) in dialogs relating to the decisions to be taken, individually and collectively, concerning the supply of aggregates. Pedagogical innovation also comes from the possibility of enriching the interactions between actors by using a large wall of stereoscopic images, known as an Immersive Wall for Research and Education.

MOTS-CLÉS. Jeu de rôle, simulation, délibération, économie circulaire, apprentissage collaboratif.

KEYWORDS. Role playing game, simulation, deliberation, circular economy, collaborative learning.

Introduction

L'approvisionnement de la France en granulats naturels est devenu un enjeu majeur en raison de la hausse attendue de la consommation, dans le domaine des bâtiments (construction du Grand Paris

¹ **Remerciements :** Les auteurs souhaitent remercier Jim Ewing (Université de Dundee, Ecosse) et les partenaires du projets AGREGA, pour leurs contributions et Cindy Castro et Sébastien Ancelin (OVSQ, UVSQ) pour l'utilisation de la salle MIRE.

et ses 70 000 logements/an à l'horizon 2030) que des travaux publics (construction de 4 500 km de nouvelles lignes à grande vitesse pour 2030). Face à cette croissance attendue, les estimations réalisées par la profession en termes de production paraissent alarmistes. Une pénurie dans l'approvisionnement tient en l'intensification des contraintes de fait (urbanisation, ...), ou environnementales (diminution de la production des alluvionnaires) ou sociétales (nuisances).

La profession, en concertation avec l'État et les administrations régionales, s'est investie dans une politique visant à traiter des enjeux : (1) d'intensifier le recyclage et de faire évoluer les normes actuelles vers l'incorporation des matériaux recyclés dans les bétons, (2) de renforcer l'utilisation des granulats naturels à faibles enjeux environnementaux ; et (3) de poursuivre le travail visant à une meilleure acceptabilité de l'activité auprès des élus et des riverains.

Créé pour appui à l'élaboration des Schémas Régionaux des Carrières (SRC) et des Plans Régionaux de Prévention et de Gestion des déchets (PRPGD), le projet ANR AGREGA² ou « Anticipation et Gestion régionales des Ressources En GranulAts » vise à développer une méthodologie et un outil de simulation opérationnel, pour une analyse prospective du marché des granulats à l'échelle des régions, sur 30 ans. Il s'agit de construire une méthodologie et un outil de simulation questionnant l'acceptabilité des choix à effectuer dans le cadre de prospective territoriale [DOU 19].

Dès la conception du projet de recherche AGREGA, l'articulation entre le développement d'un modèle de simulation et la nécessité de mobiliser les acteurs a été pensée. Le développement du jeu a été imaginé afin de permettre de confronter les joueurs aux défis de la gouvernance des granulats en tenant compte d'une diversité d'enjeux. Le modèle de simulation permet d'envisager les flux de matières, d'énergie, de polluants pour les circuits primaires (sable, gravillons...) et secondaires (granulats recyclés) de granulats. La mobilisation des acteurs permet (1) d'enrichir l'approche analytique de la modélisation par des opportunités de dialogues pour l'enrichir et la valider et (2) de comprendre les implications et l'acceptabilité des solutions proposées, notamment, à partir des simulations réalisées.

Le jeu, AGREGA GAME, a été développé comme un jeu sérieux ([ABT 70], [ALV 07], [DJA 16]) en appui à la Recherche. L'objectif est de permettre la réalisation de tâches non ludiques, sérieuses, de délibérations autour des choix d'approvisionnement en granulats. On peut s'interroger sur la dénomination « jeu » [BRO 10]. Il s'agit plutôt de jeu dédié à l'apprentissage, pour les transferts et pour la production de connaissances. Lors des diverses sessions de validation et d'utilisation de ce jeu, avec des professionnels, des scientifiques et des étudiants dans les domaines de géosciences et de gouvernance des territoires, la caractérisation d'AGREGA GAME a évolué. À travers un territoire imaginaire, les joueurs sont amenés à découvrir la filière « granulats », à s'insérer dans les processus d'échange entre les acteurs et à effectuer des choix. La solution n'est pas définie a priori et nécessite que l'ensemble des joueurs contribuent à sa recherche. Le problème devient celui de la production, de la mobilisation et de la visualisation des connaissances pertinentes pour effectuer des choix cohérents. AGREGA GAME questionne les formes d'interactions entre les joueurs et les interfaces du jeu pour la gouvernance des granulats. Le jeu repose sur la mobilisation de trois outils issus de la recherche : un jeu de rôle sur plateau ; une modélisation de simulation ; et un outil d'évaluation multicritères et multi-acteurs (la Matrice KerBabel de Délibération). Dès lors, le jeu sérieux pourrait être défini comme un jeu à but (*game with a purpose*) [VON 08].

Dans cet article, nous découvrons les défis de création d'un jeu sérieux sur l'économie circulaire des granulats. Nous proposerons une structuration des défis de la mise en œuvre d'une évaluation intégrée environnementale des granulats. La démarche participative INTEGRAAL nous permettra

² Le projet AGREGA (ANR-13-ECOT-0008) s'inscrit dans le cadre d'un programme de recherche ANR (agence Nationale de la Recherche) sur « les Écotechnologies et les ÉcoServices : Axe 1 - Vers une économie circulaire (ECO-TS ; 2013) ».

de structurer la mobilisation des trois outils. Enfin, nous soulignerons les formes d'apprentissages collaboratifs qui peuvent être envisagées et leur contribution dans la perspective d'une gouvernance inclusive des granulats.

1. Les défis de création d'espaces de jeu dans les mondes réels et virtuels

1.1. Préambule : description synthétique de l'économie circulaire des granulats

L'économie circulaire désigne un modèle économique dont l'objectif est de produire des biens et des services de manière durable, en limitant la consommation et les gaspillages de ressources (matières premières, eau, énergie) ainsi que la production des déchets. Il s'agit de rompre avec le modèle de l'économie totalement linéaire (extraire, fabriquer, consommer, jeter) pour un modèle économique plus « circulaire » avec l'idée que si le recyclage, même à 100 %, ne peut pas empêcher l'exploitation de ressources primaires, il permet au moins de la réduire.

Pour la filière granulats, l'économie circulaire est un enjeu majeur [PIP 16] ; elle se caractérise par la règle des 4R :

- Réduire :

- l'exploitation des alluvionnaires (pour préserver l'environnement), au profit de granulats à moins faibles enjeux environnementaux (roches massives),
- la mise en décharge des déchets, au profit du recyclage ou de la valorisation ;

–réemployer : les déblais de terres excavées issues de la déconstruction, pour les remblaiements sur le même chantier, ou ailleurs ;

–réutiliser : les déchets inertes de bétons et d'enrobés issus de la déconstruction

- pour les constructions de route
- pour le remblaiement des carrières en fin de vie ;

–recycler : les déchets pour être intégrés dans la construction des routes.

La figure 1 propose une expression des formes de circularité du secteur des granulats, en termes de matières [PAN 17].

LE CYCLE DE RESSOURCES : LES GRANULATS

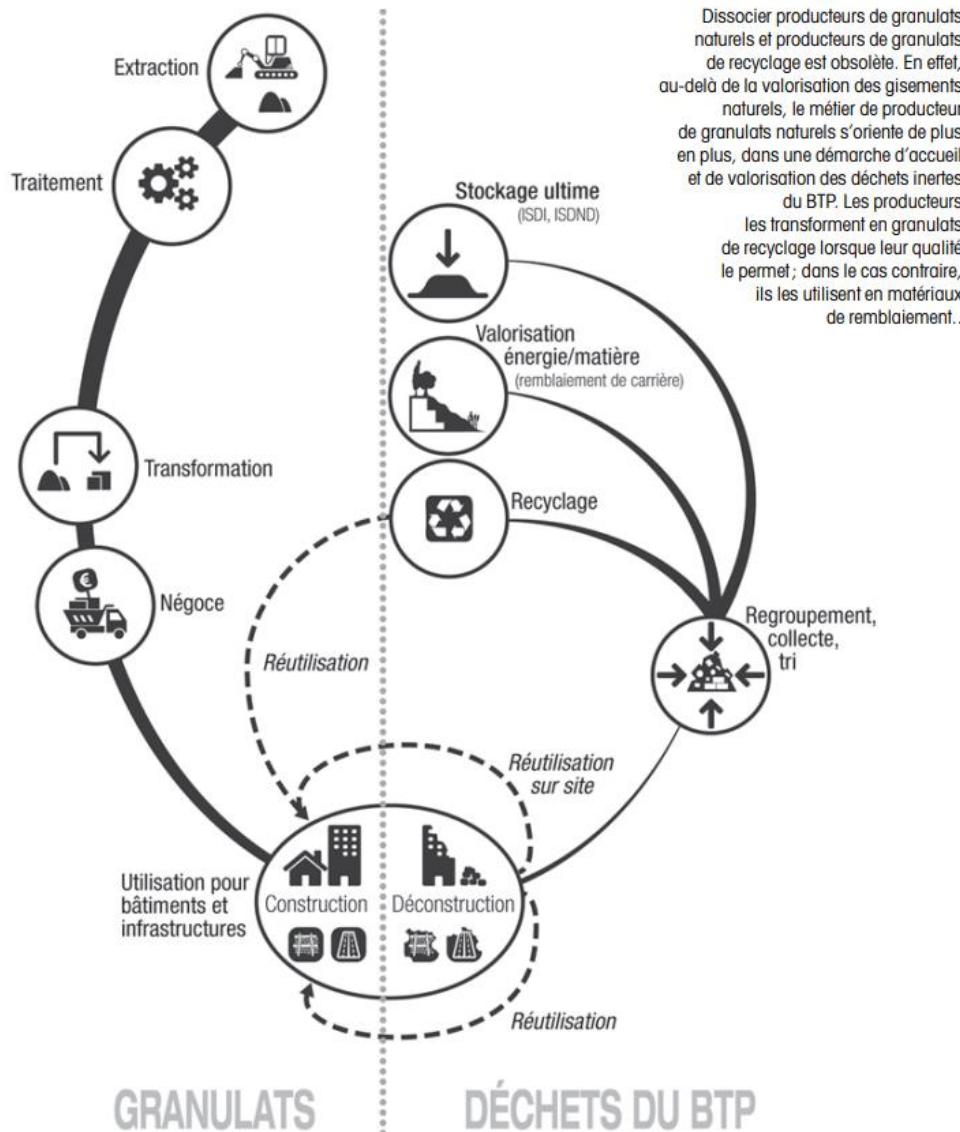


Figure 1. Les boucles positives de l'économie circulaire dans le domaine de l'approvisionnement en granulats ([PAN 17], p.6)

1.2. Construire des délibérations pour une économie circulaire des granulats

Les défis de l'approvisionnement des granulats sont importants. L'épuisement progressif des gisements et la pression de l'urbanisation se sont traduits, depuis une cinquantaine d'années, par un déplacement progressif des zones d'exploitation de matériaux alluvionnaires vers des zones de plus en plus éloignées du lieu d'utilisation de la ressource avec, corrélativement, une évolution de la nature des remises en état et des réaménagements associés aux carrières d'extraction. L'augmentation de l'utilisation de granulats, primaires (provenant des milieux naturels) ou secondaires (recyclés), implique deux questionnements.

D'une part, il s'agit de s'interroger sur les sources d'approvisionnement (au niveau local, national ou à l'étranger) et les moyens de transport. La ressource ayant un coût faible, tout changement de transports en augmente le coût.

D'autre part, la question de la demande sociale pour une telle ressource se pose. Des phénomènes NIMBY³ se développent, mettant en évidence l'opposition de résidents à un projet local d'intérêt

³ NIMBY, de l'anglais « *Not-In-My-BackYard* », est une attitude sociale admettant le fait que les granulats sont nécessaires, mais qui, en même temps, s'opposent à leur extraction à partir de son propre environnement.

général dont ils considèrent qu'ils subiront des nuisances. Cette double problématique peut être qualifiée de complexe (ou *wicked problem*, en anglais) au sens où le problème est difficile voire impossible à résoudre en raison d'une diversité d'enjeux (économique, sociaux, techniques, écologiques) à prendre en compte, d'une nécessaire mobilisation d'acteurs qui ont des intérêts variés et d'une situation d'incomplétude de connaissances.

On peut dès lors s'intéresser, positivement ou négativement, à la répartition des opportunités, des risques et des coûts, pour les individus et pour la collectivité, de l'approvisionnement en granulats.

Le processus de gouvernance permettant de comparer les différents choix possibles peut s'effectuer à l'aide de la Matrice Kerbabel de Délibération [OCO 07]. Conçue sur l'idée du Rubik's Cube™, cette matrice est une méthode et un outil d'évaluation intégrée multicritères et multi-acteurs (Figure 2) ; cet outil est issu du portail contributif ePLANETe (www.eplanete.blue).

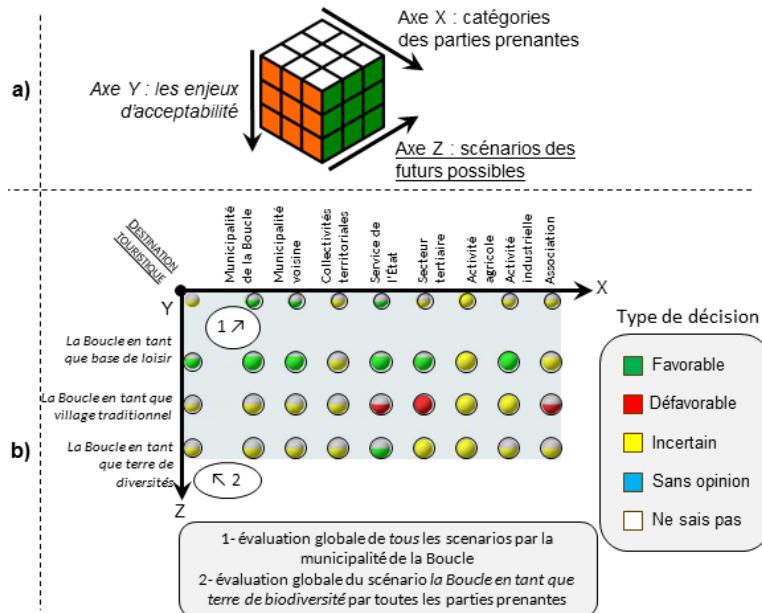


Figure 2. L'outil 'matrice de délibération' utilisé pour l'évaluation d'un scénario : (a) sa structure générale et (b) un exemple d'une tranche de la matrice montrant un enjeu

Au cœur de la mobilisation de cette matrice, la construction du problème d'approvisionnement comme une question de choix social rend explicite les interrogations suivantes :

- Quels sont les choix envisageables (scénarios des futurs possibles) à comparer ?
- Quelles sont les préoccupations (enjeux d'acceptabilité) exprimées par les acteurs et qui vont être utilisées pour comparer les choix à effectuer ?
- Quelles sont les catégories de parties prenantes (ou acteurs) qui sont impactées par le problème et qui vont exprimer un jugement ?

Mais effectuer des jugements pour définir, parmi les choix possibles, celui ou ceux qui sont le(s) plus pertinent(s), nécessite d'instaurer un dialogue autour des connaissances, scientifiques ou non.

1.3. État de l'art sur la complémentarité entre le monde réel et le monde virtuel des serious games

Différentes expériences ont été menées pour tester et documenter l'utilisation de la Matrice de Délibération dans des jeux sérieux : GOUVERNe Deliberation Support Tool pour la gouvernance de l'eau [AMO 13] et le SMMAAD KerViViANE [DOU 05].

Un premier prototype de Système MultiMédia d’Apprentissage et d’Aide à la Délibération (SMMAAD), nommé KerViViANE (Figure 3), a été réalisé, en 2004, pour informer la matrice de délibération autour des questions de pollutions agricoles⁴. Conçu comme un *serious game* en ligne, KerViViANE offre l’opportunité aux joueurs de découvrir des problématiques réelles à l’aide du monde virtuel. Les joueurs ont la possibilité d’entrer dans le jeu sérieux de différentes manières : une initiation guidée au *serious game*, une visite guidée ou une visite libre du monde virtuel, une visite participante comme acteur dans le monde virtuel [DOU 05].



Figure 3. Interface web KerViViANE

Outre la fonctionnalité « Matrice de délibération », KerViViANE propose trois fonctionnalités pour informer et pour documenter les délibérations :

- un ensemble de « baromètres personnels » établit un profil personnalisé des activités et des pressions environnementales associées, dans les domaines de la production agricole, de l’utilisation d’eau domestique et de la consommation alimentaire ;
- un « générateur de scénarios » permet l’exploration de différentes options de réponse aux défis posés par la pollution chimique de l’offre en eau potable, en matière de pratique agricole, de politiques publiques et des investissements d’infrastructure ;
- une « bibliothèque virtuelle » offre une documentation exhaustive des mondes virtuel et réel.

– Ces quatre fonctionnalités amènent l’utilisateur à découvrir et à interagir dans le monde virtuel en 3D autour de problématiques réelles (voir Figure 4). Chacune de ces fonctionnalités propose à chaque joueur une structuration spécifique (découvrir son impact sur l’environnement, découvrir les futurs possibles...), de contribuer, à partir de ces connaissances ou de celles mises à disposition dans la bibliothèque virtuelle, en remplissant les questionnaires interactifs et de participer à une délibération quant aux choix à effectuer pour le futur de la commune.



Figure 4. Interaction avec un monde virtuel en 3D autour de problématiques réelles

⁴ KerViviane a été développé dans le cadre du projet européen « Social learning on EnVIronmental Issues with inTeractive information and commUnicAtion technoloGieS » (VIRTUALIS), n°IST-2000-28121.

Des expériences de l'utilisation de KerViViANE ont été menées, dans un format hybride, dans la salle MIRE.⁵ Le caractère hybride permet des interactions réelles entre les joueurs et à l'aide de l'interface numérique de KerViViANE (Figure 5).

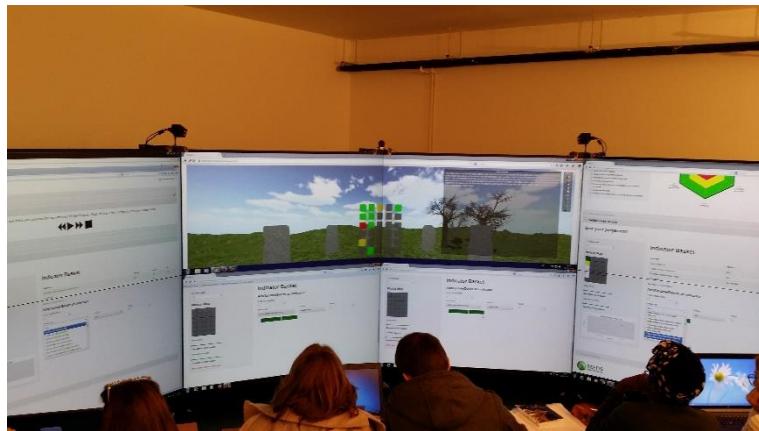


Figure 5. La Matrice de Délibération dans le monde virtuel

Néanmoins, il fallait renforcer une dimension importante dans le dispositif : la dimension temporelle, nécessaire dans toute prospective territoriale (souvent via la simulation).

Le projet AGREGA, visant à appuyer la compréhension et la gestion de l'économie circulaire des granulats sur un territoire régional, a mis en avant cette dimension tout en maintenant, comme dans KerViViANE, la dimension spatiale, le principe de la délibération, et toute la complexité induite par tous ces éléments.

2. Introduction à « AGREGA GAME » via l'historique du projet AGREGA

2.1. Nécessité de changer de paradigme de complexité

Historiquement, le projet AGREGA a vu le jour à la suite des limites d'un projet antérieur ANTAG (Anticipation de l'accès à la ressource granulats). Le but d'ANTAG était (a) de mettre en œuvre des schémas de rupture du fonctionnement actuel du marché national des granulats, et ce, avec une approche macroéconomique et (b) d'évaluer les conséquences de ces schémas sur les 30 prochaines années.

Cependant, le modèle de simulation développé dans ANTAG [ROD 10] avait plusieurs limites. D'abord, il était jugé trop « macro » par rapport aux décisions d'ouverture des carrières (échelle régionale). Ensuite, l'économie circulaire de ce modèle ne contenait que le recyclage. Enfin, le modèle était orienté "expertise". Les acteurs du terrain n'ont pas été approchés uniquement dans une phase de développement avancée du modèle ; donc il y a eu peu d'appropriations du modèle, perçu comme une boîte noire.

La conclusion était qu'un changement de paradigme était nécessaire vers plus de complexité pour une meilleure compréhension, par les acteurs, de la représentation du marché des granulats.

2.2. Processus général : d'un modèle de simulation mathématique à la délibération

Ainsi, AGREGA a retenu le schéma préconisé théoriquement par Jean-Yves Rossignol [ROS 18] qui a défini 3 niveaux de paradigmes de la complexité (cf. Figure 6) : le paradigme analytique, le paradigme de la complexité restreinte et le paradigme de la complexité généralisée.

⁵ MIRE (Mur Immersif pour la Recherche et l'Enseignement) : <http://digiscope.fr/fr/platforms/mire>.

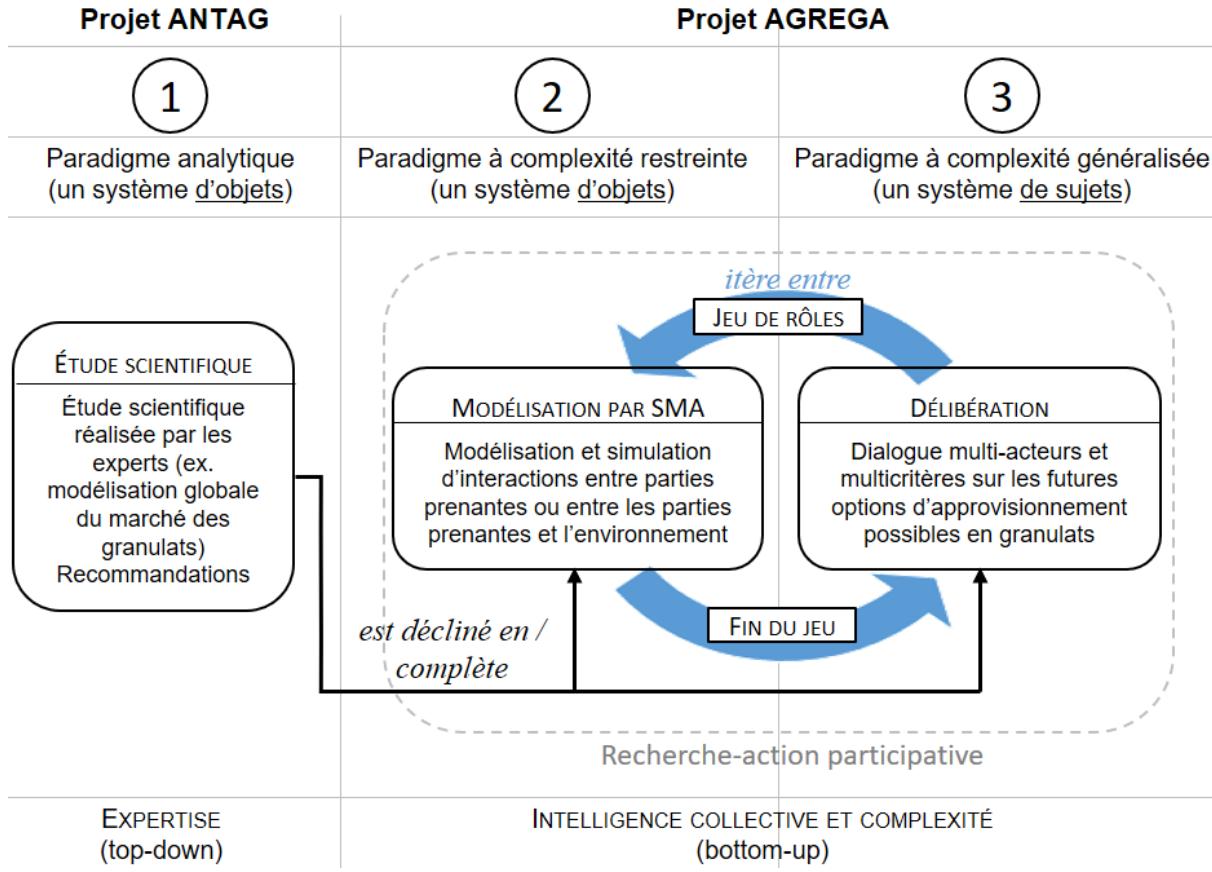


Figure 6. Les paradigmes de la complexité définis par Rossignol et positionnement d'AGREGA et d'ANTAG dans ces paradigmes

Le paradigme analytique ① dit classique (type « top-down ») est adopté par défaut pour résoudre un problème, car plus « simple » en termes d'appréhension. Ce paradigme est souvent adopté par les experts en ne considérant que très faiblement l'hétérogénéité d'un territoire. Le paradigme de la complexité restreinte ② est celui qui considère cette hétérogénéité ; il est implanté sous forme de modèle de simulation multi-agent (SMA), une approche qui, selon J. Fromm, est, à ce jour la meilleure méthode pour modéliser la complexité [FRO 04]. Le paradigme de la complexité généralisée ③ est ce paradigme où l'irrationnel et la subjectivité tiennent une grande part et, où les différents acteurs, en s'appuyant éventuellement sur les modèles des paradigmes 1 et 2, s'engagent, dans un dialogue construit [FRA 11], dans l'échange des points de vue sur les scénarios d'avenir. Nous retrouvons dans ce paradigme 3, la Matrice KerBabel de Délibération (rappel Figure 5) ; la différence est que le schéma met en avant cette fois-ci la dimension temporelle, avec la simulation par jeu de rôles (JDR) et SMA comme outils majeurs d'appui au dialogue dans AGREGA GAME. Pour mieux comprendre, un passage préalable par la théorie est nécessaire.

2.3. Focus sur le paradigme de simulation « jeu de rôle / multi-agents »

Une des études de référence est celle effectuée par l'équipe de C. Le Page [LEP 10] et adaptée dans le **Error! Reference source not found.**. Dans ce tableau, les appellations commençant génériquement par MAH (notons MAH*) correspondent à des jeux de rôles avec prise de décision par d'agents humains (d'où le 'H'), à 100 % ou en hybride avec l'informatique, et l'appellation MAV correspond à une prise de décision à 100 % par d'agents informatiques ou virtuels (d'où le 'V').

Contenu volet humain	Contenu volet humain	Contenu volet informatique
MAH ou modélisation agent à décision 100 % humaine via un jeu de rôles en plateau	Toutes les décisions sont prises exclusivement par des agents humains.	N/A
MAHi ou modélisation agent à décision 100 % humaine avec support informatique	Toutes les décisions sont prises exclusivement par des agents humains	Un support qui sert à accélérer le jeu et notamment : à saisir les décisions, à calculer les indicateurs liés aux actions décidées, à simuler la dynamique des ressources, etc.
MAV ou modélisation agent à décision 100 % en virtuel (ou informatisée)	N/A	Toutes les décisions sont prises exclusivement par des agents virtuels ou informatiques
MAVsI ou MAV « simplifié » à base de modélisation mathématique	N/A	Comme le MAV, mais avec uniquement des macro-agents dits « représentatifs » implémentés sous forme de modèle mathématique

Tableau 1. Les types de lien théorique pouvant exister entre une simulation par JDR et une simulation par SMA ; adaptés de [LEP 10]

Une simulation via un outil de type MAV se justifie lorsque le système à étudier se situe à une échelle plus large qu'un jeu de rôles (effectué avec un nombre limité de joueurs et de tours) ; la simulation informatique est la seule à pouvoir être mise en œuvre.

Une simulation MAH* et une simulation MAV peuvent être deux formes d'implémentation d'un même modèle conceptuel du monde observé. Les finalités des deux simulations peuvent être potentiellement différentes. Le jeu de rôles sert à discuter directement de scénarios de gestion alors que le MAV consiste à identifier et à implémenter les règles de décisions à l'origine des interactions, en pouvant s'appuyer éventuellement sur des théories [COL 05].

Enfin, une simulation MAVsi est une version « simplifiée » du MAV pour implémenter une approche mathématique : dans le cas d'un modèle de marché, un MAVsi implémente un modèle mathématique composé d'un ou de plusieurs macro-agents appelés des agents représentatifs.

2.4. Objectif technologique pour AGREGA GAME

Pour AGREGA GAME, il a été envisagé de développer 2 grandes catégories d'outils : (a) une pour la simulation qui permettrait de comparer différentes stratégies d'approvisionnement en granulats et (b) une pour la délibération qui sera utilisée pour structurer la question d'acceptabilité de chaque stratégie.

Pour la catégorie simulation, il a été envisagé de développer un outil de type MAH* et un autre de type MAV. Le jeu de type MAH* sert à l'aide à l'apprentissage (pour des étudiants) ou à l'aide à l'action (pour des acteurs) ; les étudiants viennent d'UNILaSALLE (formation Géosciences) et de l'université Paris Saclay (Master Gestion des territoires et Développement local) et les acteurs viennent respectivement d'Île-de-France et de PACA.

Pour la catégorie délibération, il a été envisagé une occurrence de la matrice de délibération pour chacun des cas ci-dessus.

3. AGREGA GAME : les outils développés et leurs apports pour la compréhension / gestion de l'économie circulaire des granulats

Cette section présente la synthèse des résultats obtenus et ses apports dans l'analyse de la filière (section 0), la version détaillée de ces résultats (section 0) et de ces apports (section 0) ainsi que les discussions sur le travail accompli (section 0).

3.1. Synthèse des résultats obtenus

Listage des outils développés

Le **Error! Reference source not found.** présente (a) une synthèse de quels outils, à la fin du projet, ont pu être développés pour chaque cible (étudiants, acteurs Île-de-France, acteurs PACA) et (b) le niveau d'articulation qui a pu être effectué entre ces outils. Pour le jeu de rôle, le résultat obtenu est celui d'un processus de co-construction entre professionnels du domaine des granulats, chercheurs et étudiants.

		Délibération	Simulation (MA*)	Articulation entre outils		
Cible↓	But d'AGREGA GAME	Développement Outil MDD (O/N) ?	Développement Outil MAH* (O/N) ?	Développement Outil MAV (O/N) ?	Apport MAH→ MAV (O/N) ?	Articulation MA↔MDD (O/N) ?
Étudiants	Aide à l'apprentissage	Oui	Oui (MAHi)	Non	Oui (MAV pour les acteurs)	Oui
Acteurs de la filière en Île-de-France	Aide à l'action	Oui	Oui (MAHi)	Oui (MAVSi)	Non	Non
Acteurs de la filière en PACA	Aide à l'action	Non	Non	Oui	Non	Non

Tableau 2. Synthèse d'existence ou non d'outils (jeu, matrice de délibération - MDD) développés pour chaque cible (étudiants, acteurs Île-de-France, acteurs PACA) ainsi que le niveau d'articulation de ces outils ; les termes commençant par MA sont, pour rappel, détaillés dans le tableau 1

Synthèse des apports dans le processus d'analyse de l'économie circulaire des granulats

Notre processus d'analyse de l'économie circulaire des granulats est inspiré de la métaméthode INTEGRAAL [OCO 07], une métaméthode d'évaluation qui, à travers 6 étapes principales, vise à engager experts et parties prenantes dans un processus de comparaison des scénarios. Déclinées dans AGREGA, les 6 étapes d'INTEGRAAL sont les suivantes (voir figure 7) :

– Étape 1 : Identification des terrains, des objectifs et des scénarios (aux échelles régionale et locale) d'extraction et/ou de recyclage des granulats, qui peuvent satisfaire simultanément des critères de faisabilité technique, de rentabilité économique, de qualité environnementale et d'acceptabilité sociétale.

– Étape 2 : Structuration du problème de « choix social », en termes de trio « acteurs, enjeux, scénarios » ; cela signifie identification des acteurs (les parties prenantes), de leur perception des enjeux de performance qui leur semblent pertinents, et des options de stratégie d'approvisionnement qu'ils pensent possibles dans le futur de la filière.

– Étape 3 : Mobilisation des outils pour la représentation de la situation : outre les moyens de modélisation classiquement utilisés par INTEGRAAL, c'est dans cette étape que sera ajoutée, la simulation prospective par un modèle de simulation et des jeux de rôles.

– Étape 4 : Mobilisation des acteurs de l'étape 2 autour de la matrice de délibération pour une évaluation multicritère et multi-acteurs des scénarios d'approvisionnement en granulats et de valorisation des déchets à partir des indicateurs obtenus précédemment.

– Étape 5 : Communication des résultats de l'étude auprès des participants et du public. On passe de la recherche au processus de décision.

– Étape 6 : Retours sur expériences sur le déroulement de la démarche d'évaluation.

La figure 7 présente à la fois la déclinaison d'INTEGRAAL pour la problématique d'AGREGA et la synthèse des apports majeurs, pour chaque étape, des outils développés dans AGREGA GAME.

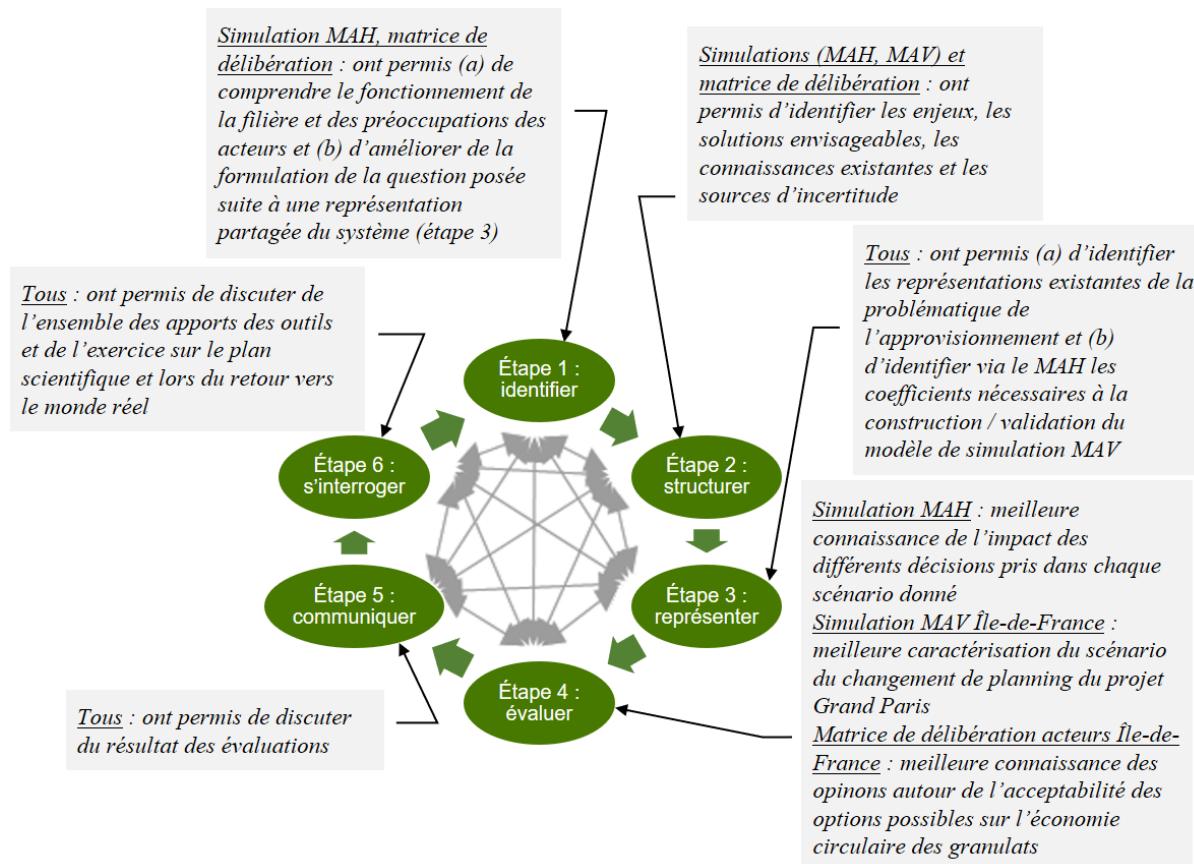


Figure 7. Description de la métaméthode INTEGRAAL et synthèse des apports majeurs (le cas échéant) des outils développés dans AGREGA-GAME, pour chaque étape

3.2. Description détaillée des outils de simulation développés

L'outil de simulation par « jeu de rôles » développé

Le jeu développé est de type MAHi (cf. **Error! Reference source not found.** pour ces notions) ; il est composé d'un plateau contenant (cf. Figure 8) :

– à gauche : le territoire (fictif) du jeu, la séquence du jeu et les liens entre les rôles (lien de type client ↔ fournisseur) permettant d'identifier schématiquement les besoins en granulats et leurs usages

– à droite : l'emplacement des cartes d'initialisation des rôles et la légende du territoire.

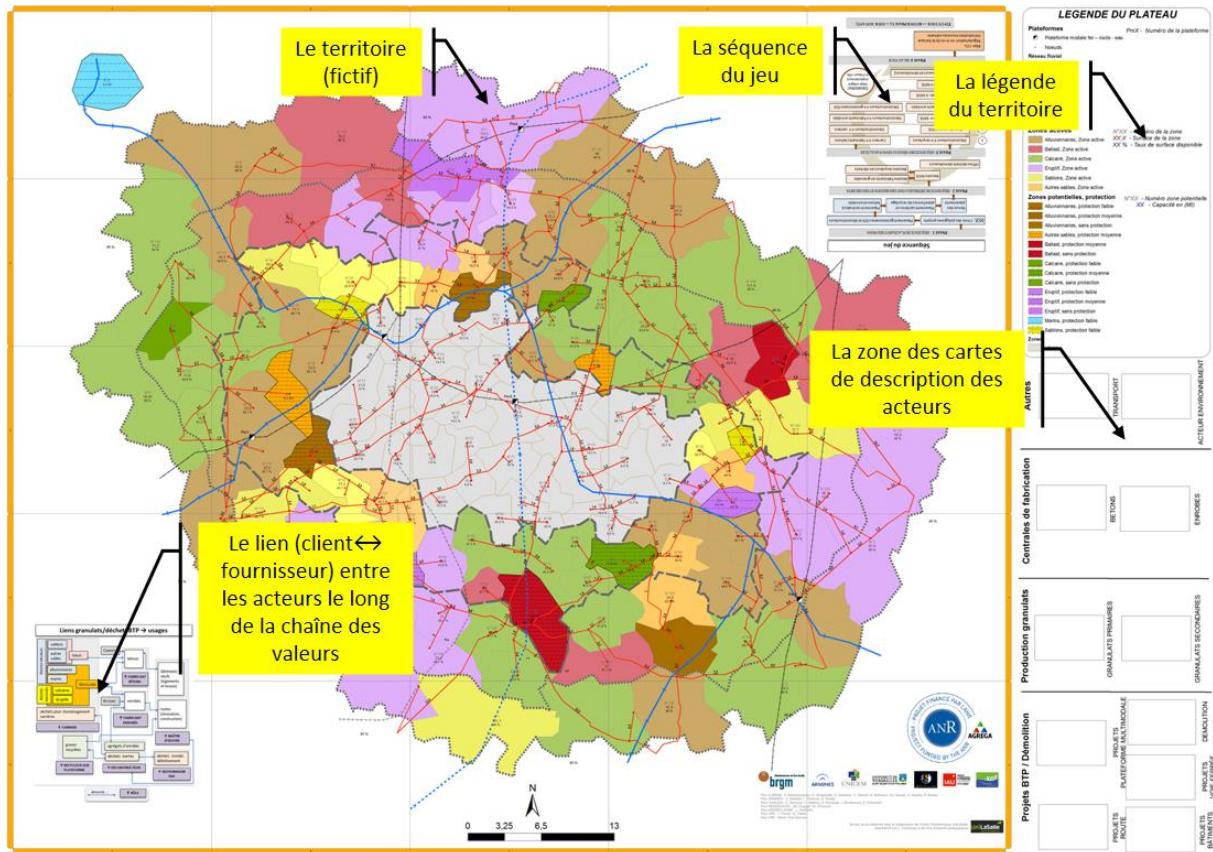


Figure 8. Vue globale du plateau de jeu

Le territoire du jeu (à gauche) contient des zones sous forme de polygones et des réseaux de transport (routier, fluvial, ferroviaire) sous forme de lignes. La figure 9 fait un zoom sur la légende du territoire du jeu, présentée en haut à droite du plateau.



Figure 9. Zoom sur la légende du territoire du jeu

Quant à la séquence du jeu, elle est décrite en haut à droite du territoire. Si l'on zoome sur cette séquence, on obtient le déroulement décrit dans la figure 10.

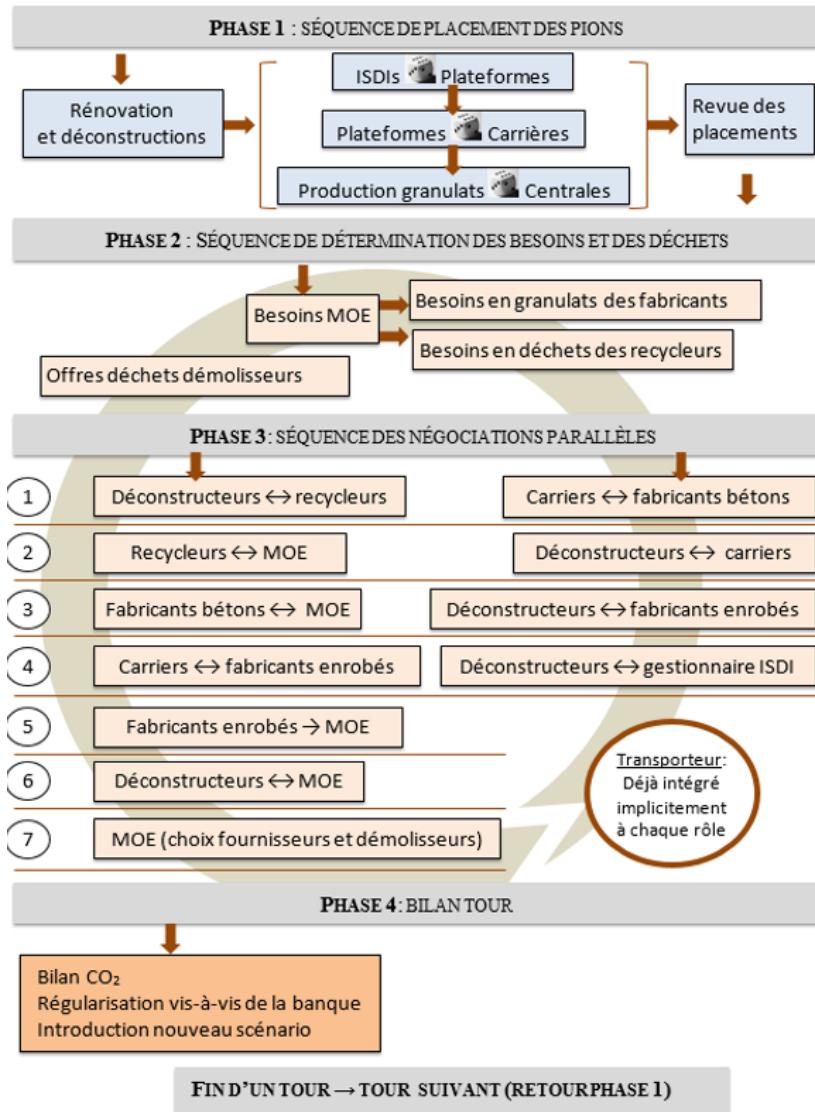


Figure 10. Détail du déroulement d'une séquence dans un tour de jeu : une alternance entre tirage / placement de pions et négociations / élaboration de bilans⁶

Les cartes d'initialisation des rôles se situent en bas à droite du jeu plateau. Un zoom à cet endroit donne la figure 11.

⁶ MOE : Maître d'œuvre ; ISDI : Installation de stockage des déchets inertes

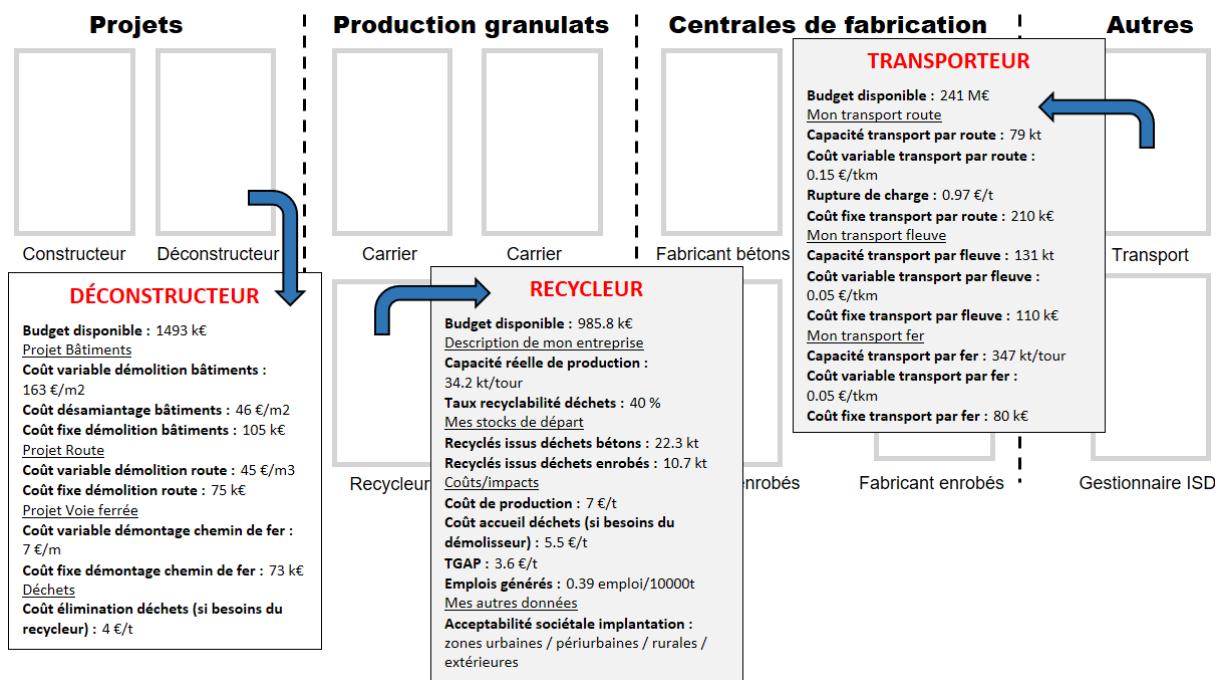


Figure 11. La zone des cartes d'initialisation des rôles et quelques exemples de cartes : déconstructeur, recycleur et transporteur

Par ailleurs, en bas à gauche du plateau, il y a le schéma des liens entre les rôles (lien de type client ↔ fournisseur) ; ce schéma permet d'identifier intrinsèquement (a) le type de ressources dont a besoin chaque utilisateur de granulats (fabricants de matériaux et constructeurs) et (b) le cycle de vie des granulats si l'on intègre la déconstruction et l'enfouissement ultime des déchets.

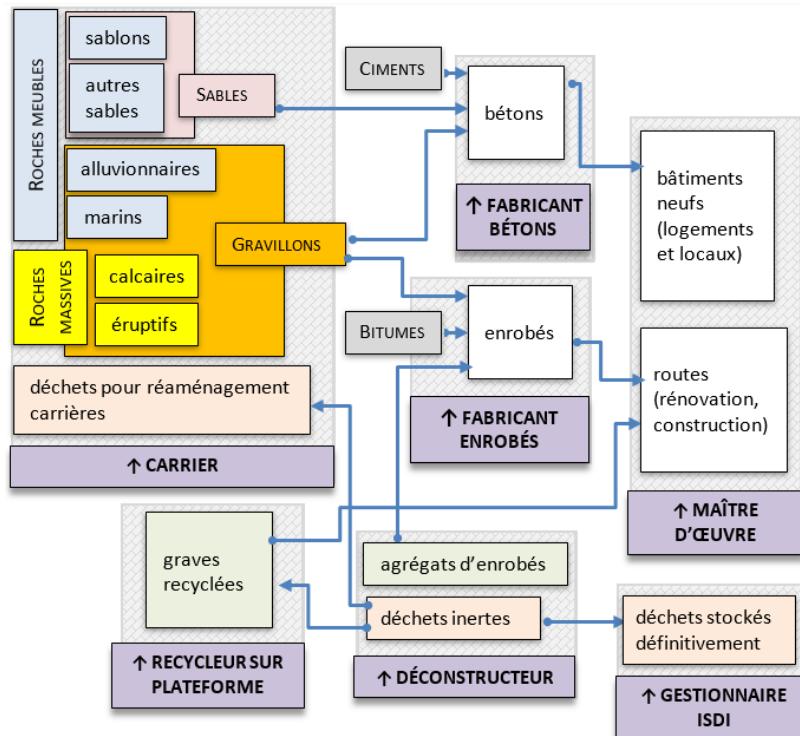


Figure 12. Liens (client ↔ fournisseur) entre les différents rôles (en violet) du jeu le long de la chaîne des valeurs de l'économie circulaire des granulats

La Figure 13 présente, enfin, l'outil informatique d'accompagnement que possède, par définition, tout outil de jeu de rôles de type MAHi (cf. **Error! Reference source not found.**).

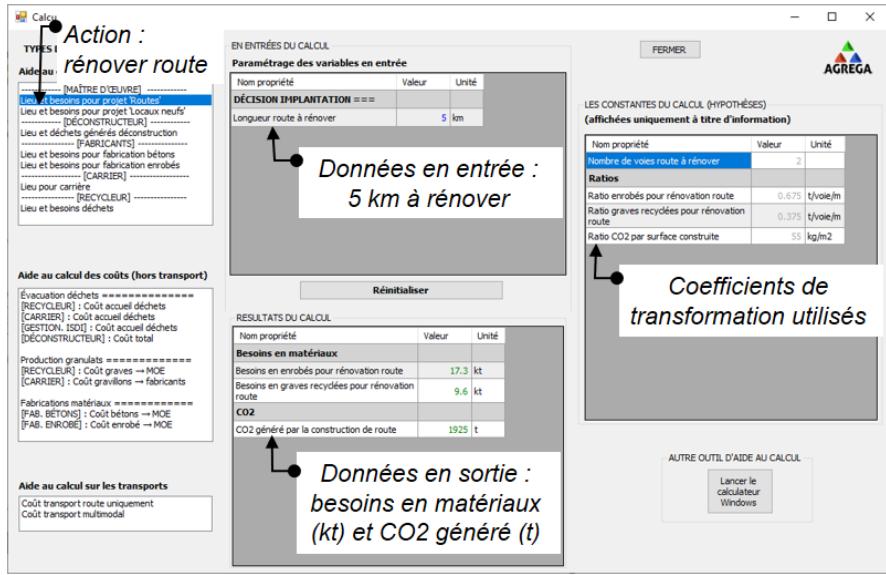


Figure 13. L'outil d'accompagnement informatique (calculateur thématique) pour le jeu de rôles ‘granulats et économie circulaire’ : dans l'exemple, pour 5 km de route à rénover, il y a besoin de 9.6 kt de gravas recyclées

L'outil de simulation informatique développé pour PACA

C'est un outil de type MAV, détaillé dans [AND 21] ; il traite de l'offre et de la demande en granulats, au niveau micro et macro. Les questions sont : quel est le taux annuel global de rénovation des routes dans la région ? quelle serait la répartition géographique possible, par municipalité, et par département, de ce taux annuel global ? et quels sont les besoins en granulats naturels et recyclés pour satisfaire cette rénovation ? Une interface de cet outil est illustrée dans la figure 14. Cette interface représente :

– à un niveau multi-acteurs à l'échelle micro, les décisions et les interactions entre, d'un côté, les 968 communes de la région PACA (les consommateurs de matériaux) et, d'un autre côté, les différents sites producteurs, répartis sur toute la région

– à un niveau multi-échelle, l'articulation entre les différents niveaux d'échelle pour que ces interactions au niveau micro se retrouvent à un niveau équilibré au niveau macro (la région PACA).

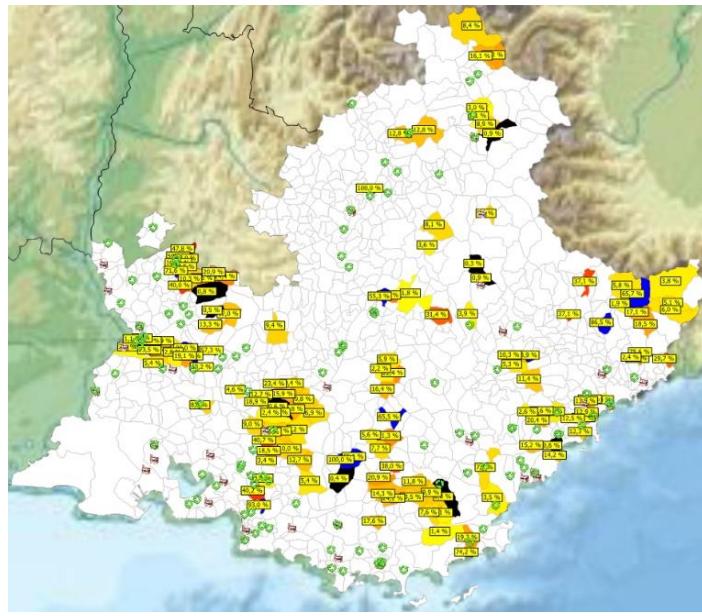


Figure 14. Estimation de la répartition géographique du taux de rénovation de route dans chaque municipalité de la région PACA quand le rayon de recherche de consommateurs par le fournisseur est de 60 kms

L'outil de simulation informatique développé pour l'Île-de-France

Cet outil de type MAVSi, détaillé dans [SCH 19] vise à comprendre, via des scénarios prospectifs, le lien entre le type d'usages de granulats et la dépendance de l'Île-de-France en granulats vis-à-vis des régions voisines en 2024. Pour cela, il optimise les flux par le biais d'un solveur mathématique. La figure 15 montre une interface de cet outil sous forme d'écran de type jeu vidéo.



Figure 15. Ecran de type jeu vidéo de l'outil de simulation pour l'Île-de-France montrant les bassins de production de granulats ayant un accès au réseau ferré

3.3. Apport détaillé des outils développés pour appui à l'analyse de l'économie circulaire des granulats

Cette sous-section détaille à présent les apports des outils développés, dans le processus d'évaluation intégrée des granulats (INTEGRAAL).

Apport du jeu de rôles sur l'étape 2 : ‘structurer’ de la méthode

L'apport des outils a été mis en évidence lors de l'apprentissage par les étudiants, des acteurs et des enjeux intervenant dans la filière granulats et économie circulaire.

Sur les acteurs : si la découverte peut s'effectuer « intellectuellement » à partir du rapport des entretiens avec les acteurs [CHA 15], se mettre à la place d'un acteur pour « vivre » son rôle, permutez avec d'autres rôles, jouer avec un système plus visuel (ex. un plateau spatialisé), a permis de comprendre, de manière plus ancrée, les caractéristiques de l'acteur (découvertes via les cartes d'initialisation de la figure 11), les interactions entre acteurs (client et fournisseur ; figure 12) et selon quelle(s) séquence(s) (figure 10). Un étudiant géologue, qui se focalise généralement sur l'étude des zones exploitables (maillon 1 de la filière), a notamment signalé, avant le jeu, ne pas savoir ce qui se passe au-delà de la fabrication des bétons (le 1^{er} cercle de client d'un exploitant de granulats) ; grâce au jeu, il a pu découvrir la filière, notamment la « symétrie » de l'extraction à partir du sous-sol et le stockage ultime des déchets dans le sous-sol.

Sur les enjeux, le **Error! Reference source not found.** indique les formes de représentation à l'aide des outils et les opportunités de découverte pour les étudiants. Pour des raisons de lisibilité ou de faisabilité, tous les enjeux recensés n'ont pas été intégrés dans le jeu de rôles (par exemple, l'enjeu ‘Assurer une rentabilité économique sur le long terme’).

Enjeu	Outil représentant l'enjeu et figure de référence	Mode de représentation de l'enjeu dans l'outil
Préserver les milieux naturels	Territoire de jeu (Figure 8) + légende (Figure 9)	Zones potentielles possédant différents niveaux de protection environnementale
Préserver les ressources en granulats	Territoire de jeu (Figure 8) + légende (Figure 9)	Différents types de granulats via différentes couleurs
Livrer la ressource là où on en a besoin	Carte d'initialisation des rôles (Figure 11)	Présentation des différentes modalités de transport (route, fleuve, rail) avec différentes contraintes (longueur, cout)
Limiter la contribution au changement climatique	Calculette (Figure 13)	Impact en termes CO2 d'un choix de carrières ou de transport
Répondre à la demande en granulats	Territoire de jeu (Figure 8) + légende (Figure 9)	Localisation des zones de consommation

Tableau 3. Les différentes représentations de quelques enjeux du monde réel, par les outils développés

Apport du jeu de rôles sur l'étape 3 ‘représenter’ de la méthode

Il se situe ici sur l'apport des jeux (MAH) dans la construction et la validation du modèle de simulation informatique PACA (MAV) ; la valeur ajoutée des jeux porte sur la détermination empirique des coefficients qui sont nécessaires à la simulation, mais non fournis à l'équipe de recherche par les professionnels. Des valeurs aléatoires sont attribuées à ces coefficients au début du jeu ; puis au fil du jeu, l'animateur du jeu écoute le retour des participants sur les résultats des actions, parfois négatif au départ (résultats bizarres, absurdes, etc.). Le coefficient est ajusté au fur et à mesure jusqu'à ce que ce retour négatif soit au minimum.

Outre cet apport MAH → MAV, le jeu développé peut, dans un cadre plus théorique pour l'instant, apporter une valeur ajoutée à l'étape 3 ‘représenter’ par la fourniture d'une représentation

partagée du fonctionnement de la filière par les acteurs ayant des enjeux, des indicateurs d'intérêts et des niveaux de connaissances différents sur cette filière.

Apport du jeu de rôles sur l'étape 4 ‘évaluer’ de la méthode

Deux apports du jeu ont été constatés ici : (1) dans l'évaluation des décisions liées à des scénarios et (2) dans le choix et l'évaluation des indicateurs élaborés via la matrice.

Par rapport au premier apport, précisons d'abord que pour le jeu, ‘évaluer’ concerne ici 4 scénarios d'approvisionnement, en commençant par un scénario de référence appelé « sans contraintes » et en poursuivant par des scénarios prospectifs introduisant des contraintes sur la production et/ou sur le transport. Pour le scénario de référence, les décisions à prendre sont résumées dans le **Error! Reference source not found.**.

Acteur	Décision
Producteur de granulats	Quelle répartition entre granulats primaires et secondaires ?
	Si granulats primaires : quelle répartition entre roches meubles (alluvionnaires, marins, sables) et roches massives (calcaires, éruptifs) ?
	Où ouvrir ma carrière et ma plateforme de recyclage ?
Transporteur de granulats	Quelle répartition entre approvisionnement par voie routière, voie fluviale et voie ferrée ?
Tout fournisseur	Quelle part de marché approvisionner quels clients ?
	Quelle marge pour la vente à mon client ?
Tout client	Quelle part de marché de prestation pour quels fournisseurs ?
Tout intermédiaire	Où me placer à bonne distance entre mon client et mon fournisseur ?

Tableau 4. *Les différentes décisions à prendre dans le scénario d'approvisionnement de référence appelé « sans contraintes ».*

Du scénario de référence découle les scénarios prospectifs suivants les contraintes suivantes :

- une diminution des granulats alluvionnaires (extraction à faible coût, mais à impact environnemental élevé) au profit d'autres granulats comme l'éruptif... (extraction à coût élevé, mais à impact environnemental faible)
- une augmentation de la part de granulats recyclés
- une dimension de la quantité acheminée via le routier (plus polluant en CO₂).

Ici, le jeu a permis un meilleur apprentissage des impacts d'une décision sur les enjeux (décris dans le **Error! Reference source not found.**) avant de les prendre en compte dans le jeu ; ces impacts sont évalués grâce à une conjugaison entre le territoire du jeu (Figure 8, représentant les localisations et distances), la légende (Figure 9, qui éclaire ces localisations) et la calculette d'accompagnement (Figure 13, qui évalue les impacts, mais aussi les besoins en amont).

Par rapport au deuxième apport, celui-ci concerne l'interaction entre le jeu de rôles et la délibération, lors des sessions de jeu, les étudiants l'ont expérimenté en complément de l'interaction entre le jeu de rôle et la simulation. Lors d'une session de jeu, les étudiants ont rempli la matrice de délibération. En fin de journée, un débriefing entre participants (étudiants, enseignants) a été effectué et vise à savoir en quoi le jeu a influencé le choix et l'évaluation des indicateurs mobilisés via la matrice de délibération.

Apport de l'outil de simulation informatique développé pour l'Île-de-France

L'outil pour l'Île-de-France (cf. Figure 15), de type « MAV simplifié », a permis, à son comité d'utilisateurs potentiels en Île-de-France, de mieux caractériser le scénario prospectif d'évolution du planning de réalisation des projets ‘Grand Paris Logements et Grand Paris Transports’ ; ce scénario porte sur la demande et sa répartition sur l'ensemble des communes d'Ile de France. L'outil permet d'identifier le levier d'action de l'utilisateur, notamment au niveau de l'offre (augmentation de la production respective du primaire, du recyclage, des marins).

Apport de l'outil de simulation informatique développé pour PACA

La situation de l'outil pour PACA, de type MAV (issu du paradigme 2, si on se réfère à la figure 6) a considéré l'hétérogénéité des acteurs et des échelles plus proche de la réalité du marché (cf. Figure 14). Cependant, lorsqu'il a été présenté aux acteurs PACA, son appropriation par les experts (paradigme 1) a été considérée comme trop tôt. L'apport de l'outil n'a pu être évalué. Il est clair que le passage de paradigme 1 à 2 nécessite davantage de sensibilisation.

Précisons cependant que si les acteurs PACA n'ont pour l'instant pas été motivés par l'utilisation d'un outil de type MAV, ils ont été favorables au développement d'un outil de type MAH appliqué ensuite sur un périmètre du département des Hautes-Alpes (05) de cette région. Ainsi, le MAH pourrait être une entrée intéressante pour aller vers le MAV (cf. la section **Error! Reference source not found.** qui discute les perspectives).

Apport de la matrice de délibération

Un apport de la matrice de délibération porte sur les informations tirées de 5 scénarios co-construits avec les acteurs de l'Île-de-France : changement de la consommation de granulats (dans la perspective des Jeux Olympiques 2024), évolution du planning de réalisation des projets ‘Grand Paris Logements et Grand Paris Transports (le même simulé par l'outil de simulation Île-de-France), ouverture du Canal Seine-Nord et renforcement de la pression sociétale pour un zéro déchet en Île-de-France.

Ce travail avec la matrice de délibération a permis aux acteurs et aux chercheurs d'avancer dans la structuration des défis d'une économie circulaire pour l'approvisionnement en granulats de la Région Île-de-France. Toutefois, les scénarios proposés impliquent tous des envois de déchets en ISDI, ne permettant pas de les revaloriser.

4. Discussions : AGREGA GAME, un jeu avec un but ?

AGREGA GAME est un jeu à but qui permet de traiter de la complexité de la problématique d'approvisionnement en granulats, en tenant compte de la diversité des perspectives des acteurs, de la variété des préoccupations, parfois antagonistes. A l'aide du jeu de rôle, il s'agit de comprendre le fonctionnement de la filière d'approvisionnement en granulats et celui de la prise de décision multi-acteurs quant à l'approvisionnement en granulats. Le SMA fournit des données relatives aux différentes options envisagées et les possibles interactions entre les acteurs du territoire étudié. L'utilisation de la Matrice de Délibération propose de comparer les options envisagées et leurs contributions pour répondre aux préoccupations des acteurs. AGREGA GAME met en évidence l'importance des opportunités de dialogue entre les acteurs pour, ensemble, progresser vers une acceptabilité des choix à effectuer et une gouvernance plus inclusive.

AGREGA GAME nous invite à réfléchir sur la complexité de la problématique de l'approvisionnement en granulat qui peut se caractériser de la manière suivante. Les thèmes

proposés constituent les compétences obtenues par les étudiants du master “Gestion des territoires et développement local”⁷:

- Décrire et définir un système complexe, sur un territoire.

Les joueurs sont amenés à faire le lien entre la demande et l’offre de granulats. Ils doivent donc comprendre la diversité des formes de granulats (naturels ou recyclés), les flux et des possibilités de transports, des pressions et des impacts environnementaux et les usages d’une telle ressource sur un territoire donné.

- Interpréter l’état des lieux, estimer les ressources et contraintes d’un territoire.

A partir du jeu de rôle de du SMA, les joueurs sont confrontés aux défis territoriaux d’implantation, d’exploitation et de réaménagement des carrières, à la question de la qualité du paysage, de l’environnement et du cadre de vie sur le territoire.

– Relier les connaissances dans une approche systémique en tenant compte de la multiplicité des représentations portées par les acteurs.

– Au niveau du jeu de rôle et du modèle de simulation, l’analyse du caractère systémique du territoire et l’appropriation des connaissances pour informer la situation amène les joueurs à se confronter à une diversité de représentations et à se questionner sur les bases d’indicateurs nécessaires pour prendre des décisions et prioriser les actions à mener, en vue d’une gouvernance partagée.

La délibération permet à chacun de contribuer à la connaissance, de la partager, parfois dans un cadre controversé, d’argumenter sur ces choix et de créer du lien entre les joueurs [DRY 03]. Ce dialogue autour des choix à effectuer s’établir à plusieurs échelles. On parle de gouvernance polycentrée et multi-échelles (voir Figure 16).

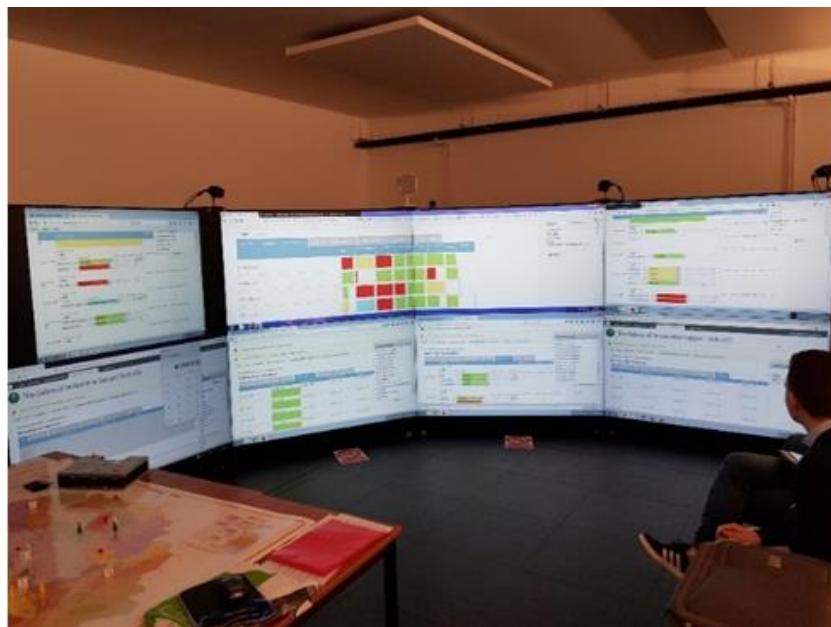


Figure 16. Utilisation collaborative pour la délibération autour des résultats de l’évaluation de la Matrice de Délibération à l’aide de MIRE

- Défendre un point de vue scientifiquement étayé, sur la base d'une posture critique.
- Évaluer et concevoir les démarches d'évaluation du programme d'action.

⁷ Voir <https://www.universite-paris-saclay.fr/formation/master/gestion-des-territoires-et-developpement-local#competences>

La restitution des résultats de AGREGA GAME à l'aide d'un écran interactif de la salle MIRE (voir Figure 17). Plusieurs niveaux de restitution ont été mobilisés à propos des stratégies retenues, de la pertinence des connaissances et de l'acceptabilité des choix effectués. Ce jeu rend également explicite le processus métacognitif permettant de comprendre la manière dont chacun apprend à partir des interfaces et des interactions proposées [DOU 05].

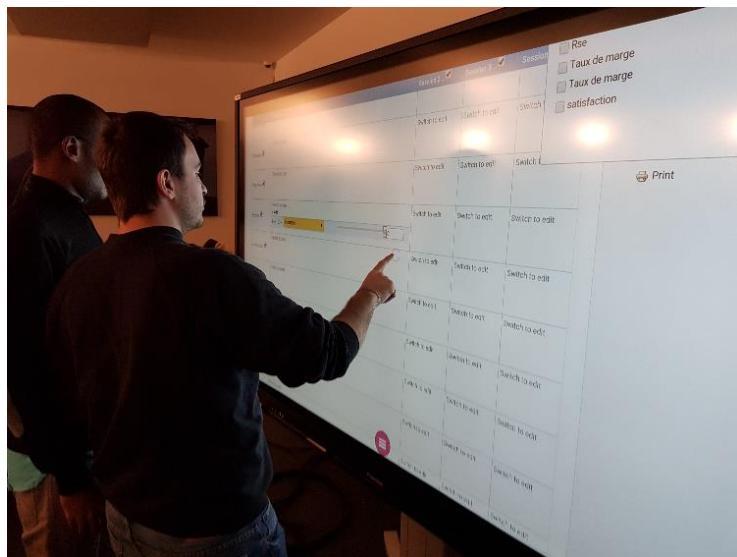


Figure 17. Utilisation d'un écran tactile pour la restitution des choix effectués dans la Matrice de Délibération

5. Conclusion

Dans le cadre d'AGREGA GAME, la Matrice KerBabel de Délibération (Figure 5) est au cœur du jeu visant à améliorer les politiques publiques grâce à l'apprentissage et à la simulation basés sur le jeu [SAW 02]. La conception de AGREGA GAME reposait, dans un premier temps, sur le recueil d'informations concernant la stratégie des acteurs de la filière de granulats et des acteurs du territoire à l'aide d'un jeu de rôle développé au sein du projet de recherche AGREGA. Ces informations étaient complétées par celles issues d'une démarche d'évaluation multi-acteurs et multicritères réalisées à l'aide de la Matrice KerBabel de Délibération. L'ensemble de ces informations ont servi au calibrage des comportements modélisés dans un système multi-agents de l'approvisionnement de granulats pour la construction du Grand Paris et d'insertion des granulats secondaires (recyclés) en région PACA. Il s'agit d'une évolution dans l'appréhension du jeu sérieux vers un jeu à but (*Game with a purpose*) créant un lien entre les scientifiques et les participants/joueurs.

De même, la construction et l'expérimentation d'AGREGA GAME nous ont amenés à nous interroger sur la pertinence des outils constitutifs du jeu (*Fitness for purpose of tools*) pour l'économie circulaire des granulats. Différentes formes d'apprentissage (apprentissage collaboratif, constructif, coopératif...), par l'utilisation des trois outils, sont proposées au sein d'AGREGA GAME, à travers différents parcours d'apprentissage. Cela permet au joueur d'aller d'un niveau de connaissances vers un niveau supérieur de connaissances. En organisant ce jeu au sein de la salle MIRE, de nouvelles formes d'immersion dans le jeu sont proposées à travers ce mur de huit écrans interactifs et d'écrans tactiles (cf. Figure 5).

AGREGA GAME est un jeu avec un but dans le sens où les compétences humaines sont mises à disposition pour la production de données et à des fins de recherche dans la perspective d'une économie circulaire des granulats [VON 08]. La composante ludique vise à motiver les participants/joueurs. Il permet de solliciter un ensemble de personnes pour résoudre des problèmes de gouvernance des granulats faisant appel à une intelligence collective. Il peut être qualifié de

sciences participatives et citoyennes, suivant les conditions d'utilisation, à travers la co-construction des connaissances et par leur partage au sein de la société.

Bibliographie

- [ABT 70] BAT C., *Serious Games*, University Press of America, New York, 1970.
- [ALV 07] ALVAREZ J., Du Jeu vidéo au Serious Game : approches culturelle, pragmatique et formelle, Thèse en Sciences de l'Information et de la Communication. Université de Toulouse II, Université de Toulouse III, 2007.
- [AMO 13] AMORSI N., La gestion durable de l'eau : L'apport de la matrice de délibération à l'évaluation économique. Études de cas : La nappe des calcaires De Champigny, Thèse de doctorat, Université de Versailles Saint Quentin, 2013.
- [AND 21] ANDRIAMASINORO F., MONFORT-CLIMENT D., « Consideration of Complexity in the Management of Construction and Demolition Waste Flow in French Regions: An Agent-Based Computational Economics Approach ». *Modelling*, 2(3), p. 385-405, 2021.
- [BRA 18] BRADLEY R., « 16 Examples of Artificial Intelligence (AI) » in *Your Everyday Life*, 2018. Consulté le 1/10/2021.
- [BRO 10] BROUGERE G., « Formes ludiques et formes éducatives », J. BECHARD et G BROUGERE (ed.), *Jeu et apprentissage : quelles relations*, Sherbrooke, Editions du CRP, p. 43-62, 2010.
- [CHA 15] CHAMARET A., *Comprendre et structurer le système Approvisionnement de granulats en Ile-de-France : ses acteurs, ses enjeux et les scénarios possibles – Synthèse des entretiens avec les acteurs*. Rapport pour la Tâche AGREGA n°3.3. Adret et territoires & REEDS – Université de Versailles-Saint-Quentin-en-Yvelines, 2015.
- [COL 05] COLLECTIF_COMMOD, « La modélisation comme outil d'accompagnement », *Natures Sciences Sociétés*, 13(2), p. 165-168, 2005.
- [DJA 16] DJAOUTI D. (2016). « Serious Games pour l'éducation : utiliser, créer, faire créer ? », OpenEdition Journals, n°44, p. 51-64. <https://doi.org/10.4000/trema.3386>
- [DOU 19] DOUGUET J.M., MORLAT C., LANCELEUR P., ANDRIAMASINORO F., « Subjective evaluation of aggregate supply scenarios in the Ile-de-France region with a view to a circular economy: the ANR AGREGA research project », *International Journal of Sustainable Development*, vol.22, n°3/4, p.123-157, 2019.
- [DOU 05] DOUGUET J.M., O'CONNOR M., EWING J., KULJIS S., LANCELEUR P., LEGRAND F., SCHEMBRI P., « Guide d'utilisation de Viviane », *Rapport de recherche du C3ED*, n°05-02, Guyancourt, France, 2005.
- [DRY 03] DRYZEK J., LIST C., « Social Choice Theory and Deliberative Democracy: A Reconciliation », *British Journal of Political Science*, vol.33, 2003.
- [FRA 11] FRAME B., O'CONNOR M., « Integrating valuation and deliberation: the purposes of sustainability assessment », *Environmental Science & Policy*, vol.14, n°1, p. 1-10, 2011.
- [FRO 04] FROMM J., *The Emergence of Complexity*, Kassel University Press, 2004.
- [HAM 10] HAMILL L., « Agent-based modelling: the next 15 years », *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 13(4), 2010.
- [LEP 10] LE PAGE C., ABRAMI G., BARRETEAU O., BECU N., BOMMEL P., BOTTA A., SOUCHERE V., « Des modèles pour partager des représentations », in M. ETIENNE (Éd.), *La modélisation d'accompagnement : une démarche participative en appui au développement durable*, Quae, p. 71-101, 2010.
- [OCO 07] O'CONNOR M., BUREAU P., REICHEL V., « Deliberative Sustainability Assessment with the on line KerDST Deliberation Support Tool », *Cahiers du C3ED*, n°07-03, Université de Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines, 2007.
- [PAN 17] PANORAMA_IDF, *Granulats en Île-de-France : Panorama régional*. Collectif DRIEE - IAU – UNICEM, 2017.
- [PIP 16] PIPAME, *Prospective: Marché actuel et offre de la filière minérale de construction et évaluation à échéance 2030 - Synthèse*. Final report. DGE, 2016.
- [ROD 10] RODRIGUEZ-CHAVEZ M.-L., Anticipation of the access to the aggregate resource by breaking present schemes in the long term, Thèse, MINES ParisTech, Paris, 2010.

[ROS 18] ROSSIGNOL J.-Y., *Complexité: Fondamentaux à l'usage des étudiants et des professionnels*, EDP Sciences - Collection : PROfil, 2018.

[SAW 02] SAWYER B., REJESKI D., *Serious Games: Improving Public Policy Through Game-based Learning and Simulation*. Woodrow Wilson International Center for Scholars, 2002.

[SCH 19] SCHLEIFER J., TESSIER B., THENEVIN I., DENEUVE C., MALLENS C., GOETHALS L., « Le projet AGREGA : vers un outil pédagogique et ludique pour simuler le marché des granulats en région Île-de-France », *Annales des Mines - Responsabilité et environnement*, Eska, vol.96, n°4, p. 107-119, 2019.

[VON 08] VON AHN L., DABBISH L., « Designining games with a purpose. Communications of the ACM », vol.51, n°8, p. 58-67, 2008.