

DE LA SIMULATION A LA SIMULATION PARTICIPATIVE : APPORTER UNE VISION INTEGREE DE LA RENOVATION URBAINE AUX AMENAGEURS PUBLICS, A TRAVERS UNE DEMARCHE EXPERIMENTALE

From simulation towards participatory simulation: providing an integrated vision to public planners of urban renewal, through an experimental approach

Berry Anaïs¹, Becu Nicolas², Goubier Onil³, Papoulias Nikolaos⁴, Long Nathalie⁵, Vye Didier⁶

¹ Berry Anaïs, Ingénieure d'étude, LIENSs, La Rochelle, anais.berry1@univ-lr.fr

² Becu Nicolas, Chargé de recherche, LIENSs, La Rochelle, nicolas.becu@univ-lr.fr

³ Goubier Onil, Ingénieure de recherche, LIENSs, La Rochelle, onil.goubier@gmail.com

⁴ Papoulias Nikolaos, Ingénieur de recherche, LIENSs, La Rochelle, npapoylias@gmail.com

⁵ Long Nathalie, Chargée de recherche, LIENSs, La Rochelle, nathalie.long@univ-lr.fr

⁶ Vye Didier, Maître de conférences, LIENSs, La Rochelle, didier.vye@univ-lr.fr

Résumé - Dans le cadre de programmes nationaux de rénovation urbaine, les acteurs de la politique de la Ville mènent de nombreux projets cherchant à répondre à différents objectifs : réduire la consommation énergétique, améliorer le cadre de vie, favoriser l'écomobilité, encourager la mixité sociale. Plusieurs acteurs publics locaux sont concernés (services de la politique de la Ville et/ou de l'urbanisme et/ou de l'environnement des communes et intercommunalités, bailleurs sociaux) et sont amenés à apporter leur expertise, leurs recommandations, leurs avis. Toutefois, ces différents acteurs peuvent manquer de temps, de moyens ou de méthodes pour travailler ensemble. C'est pourquoi dans le cadre d'un projet pluridisciplinaire sur l'efficacité énergétique, un dispositif a été développé afin de proposer aux décideurs une approche intégrée d'un programme de rénovation d'un quartier prioritaire. Le développement du dispositif repose sur deux phases : le développement d'un modèle intégré de simulation de la consommation énergétique, puis son adaptation en un dispositif de simulation participative. Le modèle numérique permet de simuler la consommation énergétique des ménages à l'échelle d'un ensemble de logements (« la Cité des Géraniums » dans le quartier de Saint-Éloi à La Rochelle), pour lequel un Projet de

Renouvellement Urbain a été engagé en 2009. Dans ce modèle, trois classes de paramètres sont modifiables par les participants lors d'une session de simulation : des paramètres structurels des bâtiments (nombre, volume, orientation, performance énergétique), des paramètres psycho-sociaux des ménages (composition, revenu, statut d'occupation, sensibilité écologique) et des paramètres climatiques (température, humidité). Les données et paramètres du modèle sont issus de résultats d'enquêtes auprès des ménages et de la littérature grise et scientifique. La transposition du modèle en un dispositif de simulation permettant un usage participatif est envisagée au travers de l'intégration de mécaniques de jeu et d'une scénarisation sous la forme d'activités à entreprendre avec l'outil de simulation. L'objectif est d'amener les participants à réfléchir à un projet de rénovation urbaine en conciliant les enjeux de consommation énergétique avec ceux relatifs à la mixité sociale et fonctionnelle de l'habitat tout en s'adaptant aux changements climatiques.

Mots-clés - *Simulation participative, rénovation urbaine, vision intégrée*

Abstract - *As part of national urban renewal programs, the political stakeholders of the city are engaged in many projects seeking to achieve different purposes: reduce energy consumption, improve living condition, foster ecomobility, promote social mixing. The public and local stakeholders involved (policy services of the city, urban planning and environment services of municipalities and inter-municipal associations, providers of social housing) are asked to provide their expertise and advice. However, these stakeholders may lack time, resources and methods to work together. That's why in the context of a multidisciplinary project on energy efficiency scaling from occupant to building and urban levels, the participatory simulation platform "Geranium" has been developed to propose to decision makers an approach integrated of a renewal program of a priority neighborhood. The participatory simulation development is based on two phases: development of an integrated simulation model for energy consumption, then its adaptation into a participatory simulation. The numeric model allows the simulation of energy consumption of households for a set of buildings (« la Cité des Géraniums » in the district of Saint-Éloi in La Rochelle), for which an urban renewal project has been initiated in 2009. In the Geranium model, the participants can change three main classes of parameters during a simulation session: building structural parameters (number, surface, energy performance), psycho-social parameters of the households (household structure, income, occupant status, environmental awareness) and micro-*

climate parameters (temperature, humidity). Data and parameters of the Geranium model are the outcome of household surveys as well as scientific and grey literature sources. The transposition of this model into a participatory simulation is designed as a numeric modeling whose participatory use is envisaged through the integration of game mechanics and a screenwriting to be experiment with the participatory simulation. The objective of the participatory simulation is to lead the participants to reflect on an urban renewal project whilst reconciling the challenges of energy consumption, social mixing, housing and all this while taking into account climate change.

Keywords - Participatory simulation, urban renewable, integrated view

1. Introduction

Depuis une quinzaine d'années, les enjeux de consommation énergétique présentent de plus en plus un intérêt scientifique à mesure que se multiplient des politiques publiques qui cherchent à améliorer la performance énergétique dans les bâtiments dans un contexte de lutte contre le changement climatique (Delzende, 2017). En France, impulsées notamment par l'organisation de la COP21 à Paris en 2015, plusieurs mesures ont été prises qu'elles soient incitatives (appel à initiatives Territoire à Energie Positive pour la Croissance Verte - TEPCV) ou contraignantes telle que la Réglementation Environnementale 2020 (RE2020). Ce volontarisme s'accompagne du développement d'un ensemble de labels (« Bâtiments Basse Consommation (BBC) » ou « Bâtiments à Energie Positive (BEPOS) » par exemple. De plus, un vaste plan de rénovation énergétique des bâtiments lancé par le Ministère de la transition écologique et solidaire en 2019 insiste notamment sur la nécessité d'ici 2050 de réduire au maximum les 7 millions de logements considérés comme des « passoires thermiques ». Parmi ceux-ci, près de la moitié (3,8 millions) sont occupés par des ménages modestes dont une part non négligeable (16%) réside au sein du parc locatif social¹. Les logements sociaux ont cependant pu bénéficier de programmes nationaux

¹ Enquêtes Phébus, 2013 : <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/enquete-performance-de-lhabitat-equipements-besoins-et-usages-de-lenergie-phebus>

ayant permis de rénover en 10 ans (2004-2014) plus de 600 quartiers prioritaires dans le cadre de la « Politique de la Ville ».

Dans la mise en œuvre de ce plan de rénovation énergétique, la consommation réelle des bâtiments n'est pas toujours bien estimée. En effet, le comportement des usagers dans les études n'est pas pris en compte pour estimer la performance énergétique des logements.

C'est dans ce contexte qu'une équipe pluridisciplinaire de chercheurs a pris comme cas d'étude un quartier d'habitat social ayant connu une opération de renouvellement urbain à La Rochelle (la Cité des Géraniums). Dans ce type de projet urbain, il est apparu nécessaire d'avoir davantage d'espaces pour permettre aux gestionnaires d'échanger (sur leur expertise) et aux scientifiques d'apporter des recommandations et de débattre ensemble sur l'état des connaissances et les options d'aménagement possibles. Pour ce faire, un outil de médiation a été développé permettant aux acteurs publics, de prendre davantage en compte, les aspects liés aux comportements des usagers dans leurs programmes de rénovation urbaine et ainsi discuter de l'efficacité énergétique des bâtiments.

L'outil retenu pour le transfert de cette vision intégrée, est une simulation numérique permettant un usage participatif. Le développement de l'outil a été prévu en deux phases, correspondant chacune à une étape de l'intégration des connaissances et des expertises des scientifiques et des gestionnaires. La première phase consiste à développer la simulation numérique permettant de calculer des niveaux de consommation à l'échelle du quartier en fonction de scénarios d'aménagement pouvant être définis par les aménageurs eux-mêmes. Cette première étape correspond au transfert des outils de simulation de la consommation énergétique issus de la recherche, pour un public de gestionnaires. La deuxième phase de développement vise à rendre la simulation numérique engageante et participative, au sens où les utilisateurs peuvent davantage contrôler et influencer sur la simulation ; on parle alors de « simulation participative ». Cet article présente les résultats du projet à mi-parcours, à savoir au moment où la deuxième phase débute et où il s'agit d'adapter l'outil de simulation numérique, pour qu'il devienne un dispositif de simulation participative à destination des aménageurs. Cette adaptation est un moment clé du développement d'un dispositif de simulation participative et cet article propose des concepts et une démarche pour l'adaptation d'une

simulation numérique en une simulation participative, dans le cas de la rénovation urbaine.

Cet article poursuit donc un double objectif : (a) décrire le modèle de simulation qui donne à voir une vision plus intégrée de la rénovation urbaine, et (b) présenter une démarche visant à adapter l'outil de simulation numérique, pour qu'il devienne un dispositif de simulation participative à destination des aménageurs publics de la rénovation urbaine.

Dans un premier temps, nous donnerons à voir le contexte de la rénovation urbaine, de l'efficacité énergétique et le programme de recherche dans lequel le développement de cet outil s'insère. Puis, nous présenterons le cadre méthodologique de ces outils participatifs appliqués au domaine de la simulation. Dans la troisième et la quatrième partie, nous présenterons successivement nos travaux associés à notre double recherche, à savoir la description du dispositif de simulation numérique « Géranium », et son adaptation pour en faire un dispositif de simulation participative. En conclusion, nous présentons les avantages et les limites du dispositif et ses orientations futures.

2. Rénovation urbaine et efficacité énergétique

2.1 La prise en compte progressive des enjeux énergétiques dans la rénovation urbaine en France

La rénovation urbaine, en tant que transformation radicale du bâti en milieu urbain, est une politique qui façonne les villes françaises depuis le XIX^{ème} siècle. Elle trouve son origine dans les grands travaux entrepris sous le Second Empire à Paris par le Baron Haussmann (percée de grands boulevards, éradication des logements insalubres). À la fin des années 1950 avec la création des Zones à Urbaniser en Priorité (ZUP), l'État a lancé un vaste plan de construction de logements sociaux (HLM) destinés à accueillir quatre millions de ménages, essentiellement dans les espaces péri-centraux des villes (Bacqué et al., 2018). À la fin des années 1970, un nouveau programme de rénovation a vu le jour afin d'améliorer le cadre de vie des habitants vivant dans ces quartiers d'habitat social, marquant le début de ce que l'on nomme la « Politique de la Ville ». Ce programme visait notamment à restaurer

l'image du logement social (Donzelot, 2006). En 1998, est créée une agence interministérielle, le PUCA (Plan Urbanisme Construction Architecture) afin de renforcer et mutualiser les connaissances sur l'aménagement des territoires et plus particulièrement des villes, à travers des programmes de recherche-action et d'expérimentation pour l'innovation et la valorisation. À partir de 2003, d'ambitieux programmes de rénovation ont été mis en place dans le cadre de la Loi « d'orientation et de programmation pour la ville et la rénovation » dite « Borloo » pour favoriser l'intégration et la mixité sociale dans la ville. Cette rénovation urbaine s'est traduite par la démolition, la rénovation et la reconstruction des quartiers « prioritaires » (majoritairement constitués d'habitat social). Dans le même temps, dans un contexte d'adaptation au changement climatique, le paradigme de la transition énergétique a pris de l'ampleur (Collard, 2018). La revue "Les annales de la recherche urbaine" y consacrera d'ailleurs un numéro entier en 2007, intitulé "La ville dans la transition énergétique". Les principaux leviers pour réduire la consommation énergétique se sont portés sur les modes de transport « doux » (vélo, marche à pied, transports en commun) et sur l'amélioration de l'efficacité énergétique des logements (Grenier, 2007). L'objectif de ce défi énergétique qui concerne tout un chacun est de réduire la consommation énergétique en France de 38% d'ici 2022. Pour cela, les travaux de reconstruction entre autres intègrent l'objectif d'une baisse de la consommation énergétique en renforçant l'isolation thermique des bâtiments (Donzelot, 2014). Cela s'est traduit, en 2002, par l'adoption d'une directive sur la performance énergétique visant l'efficacité énergétique des bâtiments avec une approche intégrée. Tous les types de bâtiments existants sont ainsi appelés à s'engager dans le processus d'amélioration énergétique du parc immobilier (publics, privés, sociaux). On constate donc une évolution dans les programmes de rénovation urbaine qui intègrent progressivement les dimensions sociales et écologiques. Ces innovations technologiques sur la thermique du bâtiment s'accompagnent de dispositifs pour favoriser le changement des comportements des ménages en matière de consommation énergétique. Ainsi de nombreux projets de rénovation incluent désormais de plus en plus les habitants comme partie prenante de ces projets. Par exemple, dans le cadre du programme PUCA - REHA (REqualification de l'HAbitat à haute performance environnementale), l'Union sociale pour l'habitat a proposé un guide recensant des méthodes et des outils existants pour impliquer l'habitant dans les projets de rénovation urbaine, comme l'atelier

post-it, le cadavre exquis ou les focus group (L'union sociale pour l'habitat, 2015).

2.2 Atteindre les objectifs d'efficacité énergétique

L'efficacité énergétique est entendue comme une réduction des consommations d'énergie, à service rendu égal, dans l'objectif de diminuer les coûts environnementaux, économiques et sociaux liés à la production et à la consommation d'énergie, tout en améliorant la qualité de vie des générations actuelles, sans hypothéquer celles des générations futures (Zélem, 2010). Le cadre actuel en matière d'efficacité énergétique est constitué de plusieurs directives et vise à atteindre l'objectif de réduction de la consommation d'énergie de 20% en 2020². Ainsi depuis plus de 15 ans, la politique d'efficacité énergétique fait partie des 3 catégories de politiques publiques visant à lutter contre le changement climatique avec les politiques de décarbonisation et des politiques de changement comportemental. Ces politiques de gestion de l'énergie se sont avant tout focalisées sur les innovations et améliorations techniques (Zhang et al., 2018) notamment par le biais de la directive sur l'écoconception, l'étiquetage de l'efficacité énergétique ou bien la directive sur la performance énergétique. Les objectifs d'efficacité énergétique sont dans un premier temps étudiés au travers l'enveloppe des bâtiments or, de nombreux auteurs montrent que la consommation énergétique est fortement dépendante du comportement des habitants (Zhang et al., 2018 ; Sun and Hong, 2017; Dong et al., 2015 ; Bourgeois et al., 2006). Parallèlement, d'autres travaux démontrent que les comportements des usagers sont encore des points aveugles des politiques de maîtrise de l'énergie (Dujin et al., 2007 et Bally, 2015) et qu'il est encore difficile de différencier la part technique de la part comportementale dans la consommation des ménages (Scardigli, 1992 ; Beslay et Zelem, 2009). Cela peut expliquer le fait que les approches techniques sur les enveloppes des bâtiments par exemple, ne prennent pas en compte les dynamiques sociales, agissant sur l'efficacité énergétique ce qui par ailleurs peut provoquer des résistances aux changements de la part des usagers (Zélem, 2010). Bien que ces réflexions sur le rôle important des comportements des usagers dans l'efficacité énergétique circulent et soient débattus au sein des communautés

² <https://www.europarl.europa.eu/factsheets/fr/sheet/69/efficacite-energetique>

scientifiques en sciences sociales, cela n'est pas le cas dans les sphères des professionnels de la planification urbaine. Ces derniers prennent conscience de l'importance de ces facteurs, mais ont du mal à les intégrer à l'ensemble de leurs pratiques planificatrices (Bacqué et Gauthier, 2011). C'est pourquoi selon Martin et Gaspard (2017) il apparaît important que l'action individuelle (des usagers) soit appuyée d'une action collective coordonnée (des professionnels) afin de parvenir à un changement des comportements. Par exemple, l'ADEME évoque le besoin de renforcer l'accompagnement des ménages car des études montrent que les pratiques de consommation d'énergie dans les bâtiments à haute performance énergétique révèlent une nette difficulté d'adaptation des individus aux dispositifs des bâtiments HQE ou BBC (Brisepierre, 2013). Pour autant, le programme ENERGISE (European NEtwork for Reasearch, Good practice and Innovation for Sustainable Energy), soutenu par l'Europe, a pu montrer à travers des *living lab*, qu'il était possible de faire évoluer des routines et des habitudes de consommation au sein des ménages, sans perdre leur confort de vie (Sahakian et al., 2019). Des ménages volontaires ont ainsi relevé des challenges avec des objectifs à atteindre en termes de consommation d'énergie et ont ainsi pu s'apercevoir qu'il était tout à fait possible de moins consommer ; sans ce challenge, ils n'auraient peut-être jamais changé par eux-mêmes.

Ainsi, afin d'apporter des éléments de réponse à ces nombreux constats, à ces limites et aux objectifs des politiques de maîtrise d'énergie, il devient primordial d'avoir une réelle vision intégrée de la consommation énergétique des bâtiments et de proposer des outils aux acteurs de terrain qui permettent d'y réfléchir.

2.3 D'un projet de recherche pluridisciplinaire à un outil intégré

Le projet de recherche PEDOBUR rassemble physiciens du bâtiment, informaticiens, géographes afin d'étudier la performance des enveloppes (des parois du bâtiment) et le comportement des usagers à l'échelle d'un quartier. Les premiers ont comme objet de recherche la modélisation de l'impact des facteurs environnementaux sur la performance d'un bâtiment en quantifiant notamment l'impact des îlots de chaleur urbain. (Kyriakodis et al., 2018). Les géographes ont cherché, eux, à identifier et à analyser des typologies de consommateurs d'énergie en utilisant des méthodes d'enquêtes telles que le

questionnaire. Les données issues de ces enquêtes ont été traitées statistiquement afin de quantifier des tendances et de les intégrer dans une simulation. Pour finir, les informaticiens ont traduit l'ensemble de ces données en langage numérique et ont assemblé ces données de nature différente dans un modèle.

Ainsi, l'un des objectifs du projet est de proposer en collaboration un outil qui permet d'agréger l'ensemble des données produites dans le projet et de les donner à voir aux décideurs du territoire. Pour être à la jonction, tel l'urbanisme, entre les pouvoirs publics, les experts et la technique (Bacqué et Gauthier, 2011) nous proposons un outil sur des bases statistiques familières des acteurs. Cet outil devra également avoir la capacité d'intégrer de nombreuses variables de sources diversifiées. Pour finir, cet outil doit permettre de donner à voir, de mettre en débat, des connaissances issues du projet non modélisables et de discuter de nombreuses notions des sciences de la participation telles que l'engagement collectif, les normes sociales, etc... Cette approche permet de répondre aux lacunes observées par Lévy et al. (2014) : "aujourd'hui, il existe de nombreux outils de simulation énergétique utilisant des données sur les propriétés physiques et thermiques des éléments de construction, mais les comportements des occupants sont rarement pris en compte", complétées par Zélem (2010) : "les outils statistiques sont impuissants à dévoiler les pratiques sociales réelles".

La simulation participative est une approche croisant les modèles de simulation et les démarches participatives, et qui peut répondre à ces besoins.

3. Simulation participative dans la rénovation urbaine

3.1 Des modèles de simulation, à l'usage participatif d'une simulation

3.1.1 *Les modèles de simulation*

Les modèles sont « des constructions matérielles ou formelles servant à représenter quelque chose de réel ou de fictif » (Varenne, 2011). La

modélisation (le processus d'élaboration d'un modèle), est un processus à visée de représentation, de conceptualisation, voire de transformation de connaissances. Une simulation est « la reproduction artificielle d'une situation réelle ou la mise en œuvre d'un modèle »³(Varenne, 2011). Une simulation est donc une simplification du réel, pour laquelle il existe une similitude pertinente entre des caractéristiques produites par la simulation et celles du système réel (ou « système de référence »). Vis-à-vis de ses utilisateurs, une simulation rend compte de processus⁴ pouvant être observés dans le système de référence (Klabbers, 2009). Ainsi, l'usage courant d'un modèle de simulation, est de spécifier des scénarios permettant aux utilisateurs de tester différentes options et de mieux comprendre le fonctionnement du système de référence. Toutefois, l'utilisateur n'intervient pas durant l'exécution de la simulation ; il modifie les paramètres d'entrées du modèle de simulation mais ne modifie pas le déroulement de la simulation une fois qu'elle est lancée. L'utilisateur a un contrôle limité de la simulation et est tributaire des concepteurs du modèle de simulation.

3.1.2 *L'usage participatif d'un modèle de simulation*

Le concept de participation est entendu ici dans l'une de ses définitions historiques, à savoir une posture qui vise un partage du contrôle sur les décisions entre les différents acteurs impliqués (World Bank, 1994). La participation dont il est question ici est liée au rapport entre ces aménageurs publics et les décisions qui peuvent découler de l'usage d'un outil de simulation développé par des scientifiques. L'outil de simulation permet de définir des scénarios, de les simuler, puis de les évaluer. S'interroger sur l'usage participatif du modèle de simulation revient donc à se poser les questions suivantes. Quel niveau de contrôle les aménageurs publics ont-ils sur la définition et l'évaluation de ces scénarios ? Peuvent-ils intégrer dans la simulation d'autres facteurs que ceux prévu par les concepteurs de l'outil ? La conception de l'outil de simulation et la façon dont il est déployé permettent-elles de créer des espaces de discussions sur les connaissances introduites dans le modèle et sur les choix d'aménagement suggérés par les

³ Lorsqu'une simulation est une mise en œuvre d'un modèle, on parle de modèle de simulation

⁴ Il s'agit bien souvent de processus liés aux dynamiques temporelles et/ou spatiales du système de référence

résultats de la simulation ? Plutôt que de participation en tant que tel, il s'agit donc d'envisager dans cet article l'usage participatif de cette simulation comme outil de médiation entre scientifiques et aménageurs publics.

3.1.3 *Simulation et jeu*

L'usage participatif d'une simulation implique que les utilisateurs aient un contrôle sur le déroulement de la simulation et sur l'interprétation de ses résultats (Crookall *et al.*, 1986 ; Barreteau *et al.*, 2010). Cela implique également qu'ils puissent modifier les règles du système d'interactions au cours de la simulation. Un dispositif de simulation pour lequel les utilisateurs ont le contrôle du déroulement et peuvent intervenir dans son exécution, est un dispositif de gaming/simulation, ou « simulation jouée » (Duke, 1974 ; Crookall *et al.*, 1986 ; Barreteau, 2003 ; Klabbers, 2009). Ce type de dispositif s'apparente à un jeu dans le sens où un jeu comporte d'une part des joueurs dont les décisions impactent sur le jeu, et d'autre part un système de règles qui définit le cadre d'interactions entre les joueurs et l'environnement de jeu (Brougère, 2005 ; Sauvé, 2007). Dans le cas d'un dispositif de simulation, cela revient à ce que les utilisateurs puissent, en fonction d'un certain nombre de règles, modifier des éléments et des variables de la simulation, et que ces modifications impactent la simulation en retour. En outre, un jeu est un artefact de second degré qui entretient une distance avec la réalité (le système de référence représentée par le jeu) ; lorsque les joueurs font une action dans un jeu, ils miment un comportement qui a du sens dans le système de référence, sans que cela ne l'impacte directement (Brougère, 2005). Le système de référence est la plupart du temps un système observable dans la réalité : par exemple le jeu d'échecs et le jeu de go représentent des stratégies militaires ; le jeu « Pandémie » simule les réponses possibles à des pandémies. Enfin, un jeu de rôles est un type de jeu comprenant toutes les caractéristiques d'un jeu mais intégrant également le fait que les participants endossent des rôles spécifiques⁵.

⁵ L'analogie entre un jeu de rôles et une simulation multi-agents a été décrite par Barreteau et al. (2003)

3.1.4 *Simulation participative*

Becu (2020) définit une simulation participative comme une simulation jouée dont l'intention est explicitement participative, c'est-à-dire où les participants partagent le contrôle sur l'instrument (la simulation et son usage) dont découle des décisions pouvant les affecter. Elle se pratique lors de temps collectifs, organisés couramment dans le cadre d'ateliers. Elle donne un cadre permettant aux participants de construire collectivement des idées, des abstractions (concepts, stratégies, plans...), qui répondent à leurs intérêts. Elle intègre un modèle de simulation sous une forme informatisée et/ou haptique, ainsi que des temps de débriefing permettant une prise de recul et un échange autour des objectifs du temps collectif définis au départ.

Un dispositif de simulation participative tel que défini ici, entre dans la définition des outils participatifs proposée par Mermet et Salles (2015) et peut permettre aux professionnels, chercheurs, agents publics de débattre de points factuels pour comprendre les phénomènes, les identifier, les reformuler et à terme donner une consistance scientifique, juridique et politique à un problème sur lequel ils pourront avoir prise.

Appliqué à la problématique de la rénovation urbaine traitée ici, l'intention du dispositif de simulation participative développé est de décloisonner l'ensemble des professions intervenant dans le cadre d'une rénovation urbaine et de donner à voir la complexité du système urbain. Il s'agit donc tout d'abord d'un objectif de médiation entre différentes disciplines de recherche et entre différents acteurs de l'aménagement, visant à partager les différentes représentations d'un même objet d'étude (Etienne, 2010).

3.2 Les applications existantes dans le domaine de l'aménagement urbain et de l'efficacité énergétique

Différents dispositifs participatifs s'apparentant aux objectifs de notre recherche ont été développés dans le domaine de l'aménagement urbain ou de l'efficacité énergétique.

Tout d'abord des outils de modélisation et simulation de consommation énergétique et d'émission de GES (gaz à effet de serre), de l'échelle du

quartier à celle de l'agglomération, ont été développés et sont présentés dans un état de l'art conduit pour le compte de l'ADEME (Aulagnier et al., 2011). Si ces outils sont conçus afin d'aider les autorités locales à décider de politiques et de stratégies qui peuvent conduire à un futur souhaitable, ils ne permettent pas un usage participatif des modèles de simulation proposés.

Les dispositifs Urbax⁶ (Vilmin, 2015) et Urb'act (Molines et al., 2018) sont quant à eux deux jeux de rôles qui permettent de représenter la complexité d'un système urbain. Ils sont à destination d'étudiants, et leur permettent de découvrir les jeux d'acteurs lors d'un projet urbain ainsi que la diversité des outils juridiques mobilisés dans l'aménagement urbain.

L'outil Global Sustainability Crossroads (Capellán-Pérez et al., 2019) est quant à lui une simulation participative qui permet aux participants une meilleure compréhension du problème de viabilité environnementale. Ce dispositif traite d'indicateurs environnementaux, mais pas spécifiquement de l'efficacité énergétique d'un quartier, ou de la prise en compte des usagers dans l'aménagement urbain.

Haradji et al. (2018) ont quant à eux développé une simulation à usage participatif qui traite des usages énergétiques. Le dispositif SMACH permet à des participants à des ateliers d'endosser le rôle d'habitants afin de mimer les usages énergétiques dans une résidence. Les résultats produits lors de ces ateliers sont à destination des fournisseurs d'énergie afin de réfléchir sur la gestion du réseau énergétique et ne concernent pas les comportements des usagers en matière de consommation énergétique. Ces ateliers n'ont pas vocation à permettre aux participants d'acquérir de nouvelles connaissances ou de construire collectivement des idées pour leur propre bénéfice.

Ainsi, parmi les dispositifs existants à notre connaissance et que nous venons de présenter, aucun ne répond à l'ensemble des objectifs de notre projet, à savoir :

- Avoir un objet intermédiaire permettant d'intégrer l'ensemble des résultats d'un projet de recherche sur l'efficacité énergétique d'un quartier. Cet outil vise à remplir une fonction de médiation entre scientifiques et acteurs de terrain

⁶ <http://www.urbax.eu/fr/accueil/>

- Permettre aux décideurs de tester différents scénarios afin d'évaluer la complexité du système urbain.
- Inciter les décideurs à réfléchir sur les instruments d'accompagnement des pratiques des usagers.

3.3 La démarche expérimentale déployée dans le projet

Les recherches menées dans le cadre du projet PEDOBUR se sont d'abord concentrées sur le développement d'un modèle de simulation intégré de la rénovation urbaine, puis, dans la deuxième phase, sur l'usage participatif de cette simulation. Afin de développer l'usage participatif de la simulation, nous nous sommes appuyés sur différents concepts et mécanismes empruntés au domaine des sciences du jeu.

L'un de ces concepts est l'engagement des participants dans le dispositif de simulation. L'engagement repose sur différents ressorts qui ont été particulièrement étudiés dans le domaine des sciences du jeu. Ainsi, Brougère (2015) identifie cinq dimensions qui participent à caractériser ce qu'est un jeu : second-degré, frivolité, décision, mécanique de décision et incertitude. Le second-degré et la frivolité ont pour rôle de créer une distance avec le réel et de minimiser les conséquences ; nous l'avons déjà évoqué plus haut. Un jeu est également, et est peut-être avant tout, une activité qui fait intervenir une succession de décisions. La décision fait partie de l'engagement de la personne dans l'activité ludique. Le concept de *flow* proposé par le psychologue Csíkszentmihályi (Csíkszentmihályi, 1990) permet d'expliquer le plaisir subjectif de l'expérience ludique. Cet état mental, durant lequel une personne est complètement plongée dans une activité qui lui procure un sentiment de satisfaction, est atteint lorsqu'il y a correspondance optimale entre les compétences d'un individu et les défis qui lui sont présentés lors de l'activité dans laquelle il s'engage. Une activité trop simple, ou une activité trop compliquée, rompt le *flow*. La difficulté des décisions à prendre doit donc être bien équilibrée. De même, le rythme des décisions est important. La décision dans un jeu est performative (Brougère, 2017) ; dès qu'on décide dans un jeu, quelque chose se produit. La spontanéité de la décision et de l'action, ainsi que le rythme de la succession des décisions à prendre sont des aspects importants qui permettent d'entretenir le *flow*. Les décisions s'organisent autour de mécanismes de décision défini par le design du

dispositif (déplacer un pion, choisir entre différentes options, régler les curseurs de différents paramètres...). Le jeu suppose une adhésion aux mécanismes de décision par les participants. Ce n'est que lorsque ces derniers s'emparent de ces mécanismes de décision que l'activité ludique commence et que l'engagement se produit (Genvo, 2011). Aussi, ces mécanismes doivent être ergonomiques et adaptés pour le public cible. Enfin, la dernière dimension de l'activité ludique est l'incertitude. Un jeu entretient une certaine incertitude sur l'issue de l'activité. Les participants ne savent pas à l'avance comment finira le jeu, sinon il n'y a pas de jeu. Encore une fois, cela requiert que les participants acceptent de rentrer dans cette activité dont l'issue n'est pas connue. La scénarisation de l'activité participe à construire un bon équilibre entre l'incertitude du jeu et un cadre de jeu qui soit rassurant et engageant pour les participants. Dans une simulation participative, ce cadre de jeu est un environnement où les participants peuvent tester de manière sécurisée, différents scénarios de gestion du système sur lequel ils travaillent.

Ainsi, la démarche que nous avons suivi pour adapter le modèle de simulation *Géranium* pour un usage participatif, repose sur différents ressorts du jeu : une succession de décisions dont le rythme et la difficulté sont bien équilibrée, des mécaniques de décision ergonomiques et adaptés au public cible, une scénarisation de l'activité qui à la fois, entretient l'incertitude sur l'issue de la simulation et à la fois répond au besoin de prospective des participants.

La mise en œuvre de cette adaptation est décrite dans la partie 5, à la suite de la présentation du modèle de simulation *Géranium* (partie 4).

4. Le modèle de simulation *Géranium*

Géranium est un outil de simulation de la consommation énergétique d'un quartier permettant à des décideurs et des scientifiques d'explorer différents scénarios prospectifs appliqués à un cas d'étude. La version du modèle présenté dans cet article est appliquée à un quartier du territoire rochelais (Charente-Maritime) : La Cité des *Géraniums*.

4.1 Cas d'étude

La « cité des Géraniums » est un quartier d'habitat social de La Rochelle, agglomération de taille moyenne située sur le littoral charentais, et qui a fait l'objet depuis 2009 d'un projet de renouvellement urbain (figure 1).

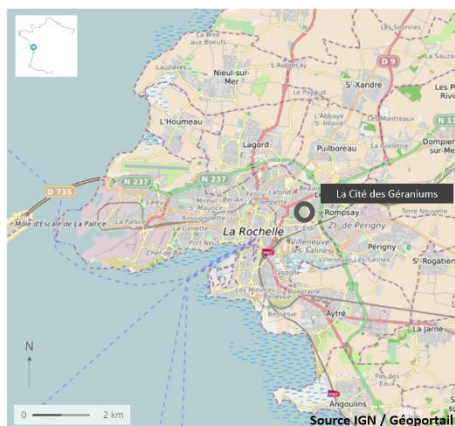


Figure 1: La Rochelle et la cité des Géraniums

Les objectifs de ce projet de rénovation étaient de⁷ :

- Favoriser la mixité sociale par une diversification de l'habitat (social, privé, individuel, collectif, accession à la propriété) ;
- Rénover deux des quatre bâtiments de logements sociaux conservés, avec une attention particulière portée à l'efficacité énergétique (pour permettre des économies d'énergies et la maîtrise des charges locatives) ;
- Délimiter les espaces publics et les espaces privés ;
- Accompagner le relogement des habitants et leur insertion professionnelle ;
- Améliorer l'intervention des services publics sur le terrain ;
- Rénover le quartier et diversifier les types de logements et les formes architecturales.

Le confort énergétique était l'une des priorités de l'opération. Pour cela, 12 logements individuels ont bénéficié du label THPE (Très Haute Performance

⁷ <http://www.office-agglo-larochelle.fr/patrimoine/rehabilitations/pru-st-eloi/index.html>

Énergétique) et 30 logements collectifs ont obtenu la labellisation BBC (Bâtiment Basse Consommation). Lors de ce projet, 91 logements ont été démolis, 317 logements ont été construits ou réhabilités (126 logements sociaux BBC, 46 logements en accession sociale à la propriété, 139 logements privés) et 64 logements ont été résidentialisés. Une centaine de familles réside aujourd'hui dans la cité des Géraniums.

4.2 Données

Pour développer l'outil de simulation Géranium, nous avons choisi de nous appuyer sur trois types de données : sociales, climatiques et structurelles. Ces données sont issues de plusieurs sources : une enquête basée sur des questionnaires déployés dans le quartier de la Cité des Géraniums, des données météorologiques et des données publiques provenant d'ENEDIS⁸ et de l'INSEE⁹.

L'enquête avait pour objectif d'identifier les comportements en matière de consommation énergétique des ménages et leur perception des environnements bâtis. Elle a été menée par la diffusion de questionnaires construits autour de 6 thématiques: informations sociodémographiques sur les occupants (âge, sexe, revenu, statut de vie et professionnel, diplôme, ...) , renseignements sur le logement (statut d'habitation, année d'emménagement, type de logement, ...), équipements et sensibilité écologique des occupants (mode de transport, internet, smartphone, système d'heures pleines/heures creuses, facteurs de choix de l'électroménager, ...), chauffage et comportements de consommation de l'énergie (quelle énergie et raisons de ce choix, montant de la facture, comportement en matière de réduction de la consommation énergétique, gestion du chauffage en fonction des pièces et quel mode de gestion de la température dans les différentes pièces, ...), évolution de la consommation et sensibilisation à la maîtrise de consommation d'énergie (aide financière, aide à la maîtrise de la

⁸ <https://www.rte-france.com/eco2mix/la-consommation-delectricite-en-france>

⁹ <https://www.insee.fr/fr/statistiques>

consommation d'énergie, ...). 99 questionnaires ont été remplis, ce qui correspond à 53% des logements initialement ciblés.

Les résultats de ces questionnaires ont permis de réaliser une typologie des comportements en matière de consommation d'énergie. Pour cela, les données se référant plus spécifiquement aux comportements de consommations d'énergie pour le chauffage des ménages ont été sélectionnées. Ces données sont en lien avec les modes de chauffage du logement en fonction des pièces (salle de bain, cuisine, chambre, salon) et avec la fréquence de certains comportements, en rapport également avec le chauffage (baisse du chauffage, contrôle de la température...). Par la suite, un autre indicateur a été calculé : un indicateur de la sensibilité écologique. Selon Zaiem (2005), la sensibilité écologique est corrélée avec la connaissance de l'environnement et le comportement écologique, c'est pourquoi notre indicateur de sensibilité écologique a été créé à partir des réponses obtenues sur les modalités de transport, les choix de consommation (par exemple pour l'achat d'ampoules, les habitants choisissent en fonction du prix, de la qualité ou des étiquettes-énergie) et la connaissance environnementale d'actions à mettre en œuvre (par exemple s'ils connaissent et utilisent le système heures creuses/heures pleines). Cet indicateur permet de caractériser plus finement les profils des ménages à travers une dimension plus écologique et environnementale, complémentaire au comportement de consommation énergétique.

Concernant les caractéristiques climatiques, les données utilisées sont des moyennes de température et d'humidité collectées par la station météorologique qui se situe sur l'aéroport de La Rochelle-Ré.

Enfin, les données des caractéristiques structurelles ont été extraites de multiples sources telles que l'enquête mentionnée ci-dessus, INSEE¹⁰, RTE¹¹, ENEDIS. Nous n'avons pas eu accès aux consommations réelles, nous avons donc utilisé les DPE normés, indiquées par ENEDIS.

¹⁰ <https://www.insee.fr/fr/statistiques>

¹¹ <https://www.rte-france.com/fr/eco2mix/eco2mix-consommation>

L'ensemble de ces données ont été utilisés pour paramétrer l'outil de simulation Géranium.

4.3 Le modèle de simulation numérique

L'outil Géranium permet de modéliser et de calculer la consommation énergétique d'un quartier. Cette consommation est fondée sur les caractéristiques des résidences du quartier, de ses habitants et des conditions climatiques. En outre, l'outil est doté de différentes interfaces qui permettent aux participants de simuler différents scénarios. Géranium est une plateforme OpenSource développée sous l'environnement de développement Pharo¹².

La plateforme est composée de trois compartiments : un modèle de la consommation, un ensemble d'interfaces graphiques permettant à des utilisateurs de visualiser les entrées/ sorties du modèle et un dernier compartiment permettant aux utilisateurs d'interagir avec la simulation. Nous présenterons ci-dessous chacun de ces compartiments.

4.3.1 *Modèle de la consommation énergétique d'un quartier*

Le modèle de consommation énergétique de Géranium comporte deux types d'entités : les habitants et les résidences. A ces deux entités s'ajoute également une entité contextuelle qui est la zone d'étude régionale. Elles sont définies par des données structurelles, sociales et climatiques (figure 2).

Plus spécifiquement, leurs caractéristiques sont les suivantes :

- Données structurelles : les types de résidences, les DPE (Diagnostic de Performance Environnementale), les surfaces et l'exposition
- Données sociales : nombre d'occupants, revenus, propriété, sensibilité écologique
- Données climatiques : saison, jour, heure, température et humidité

Les relations entre ces éléments sont données à voir dans le diagramme UML (figure 2) qui représente le modèle général de Géranium.

¹² <https://github.com/npapoylias/Geranium>

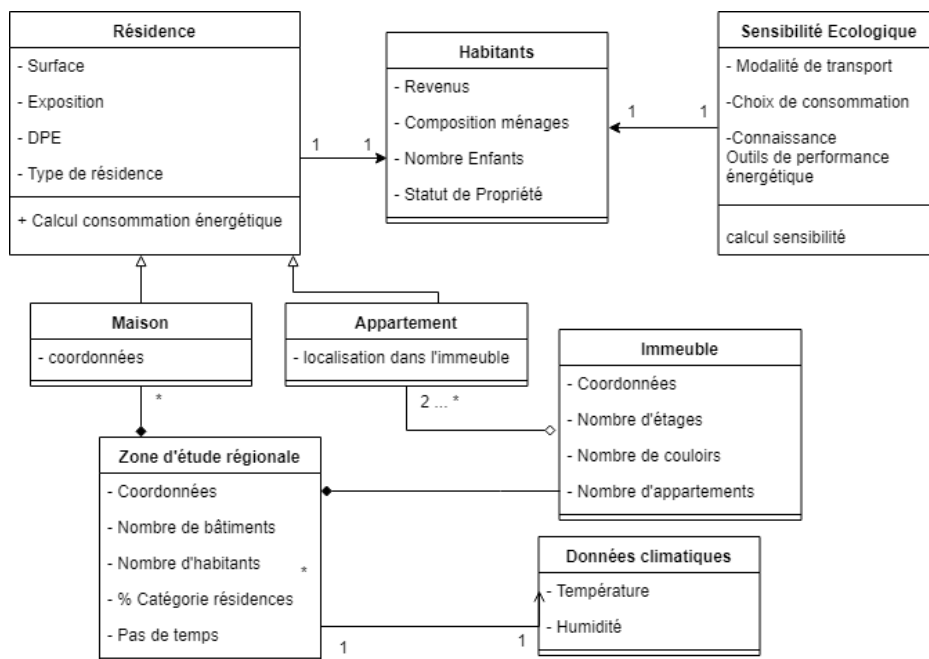


Figure 2: Diagramme des classes du modèle Géranium

Dans Géranium, il existe deux types de résidence : les appartements appartenant à un immeuble et les maisons individuelles (figure 2). Au regard d'un programme de renouvellement urbain, nous avons défini cinq catégories de résidence : les nouveaux HLM construits, les HLM rénovés, les maisons en location, les maisons en accession sociale à la propriété et les maisons privées. Les résidences sont caractérisées par différents types d'habitants qui sont eux même définis par la composition du ménage, le nombre d'enfants, le revenu, le statut d'occupation (propriétaire/locataire) et leur sensibilité écologique. La source de ces données est explicitée dans la partie 3.2. Le calcul de la consommation énergétique dans Géranium est la somme de l'ensemble des consommations énergétiques calculées pour chaque résidence (figure 3). Cette consommation est calculée à partir des DPE estimés par bâtiments, pondérés par l'ensemble des paramètres intégrés dans le modèle (caractéristiques structurelles, sociales et climatiques).

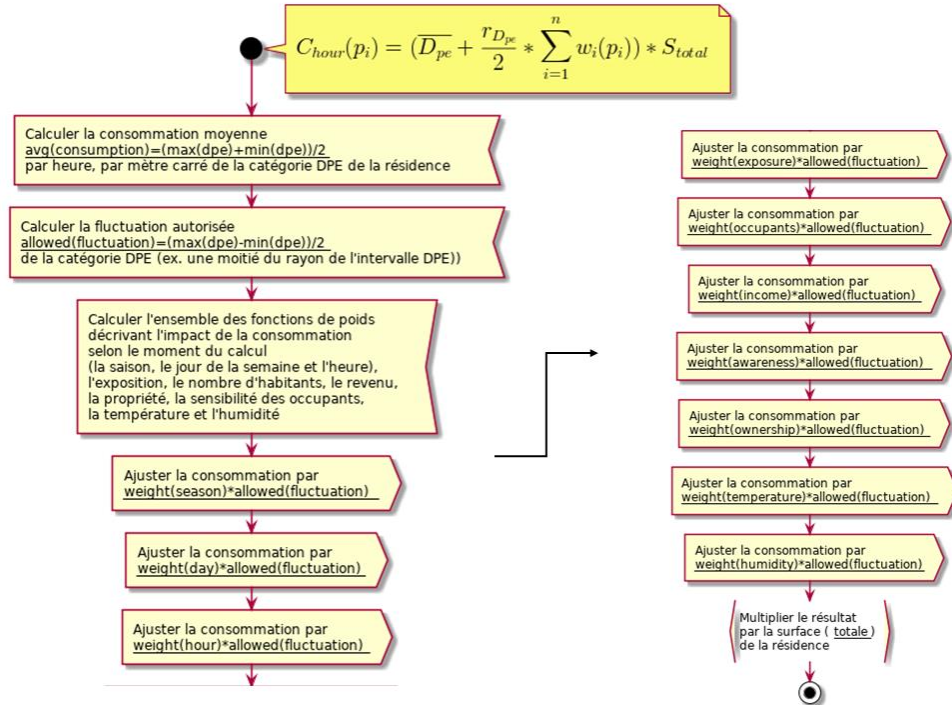


Figure 3: Diagramme d'activité : calcul de la consommation énergétique d'une résidence

Le calcul de consommation énergétique se fait à un pas de temps horaire, et ce, pour une durée d'un an. Les interfaces graphiques décrites ci-dessous, sont mises à jour à chaque pas de temps.

4.3.2 Interfaces de présentation des données

A l'ouverture de la simulation, le modèle traite les données d'entrées spécifiées et les affiche dans l'interface graphique. Cette interface est constituée de trois volets : la carte de la zone d'étude, les données d'entrées et la consommation énergétique représentée dans différents graphiques (figure 4).

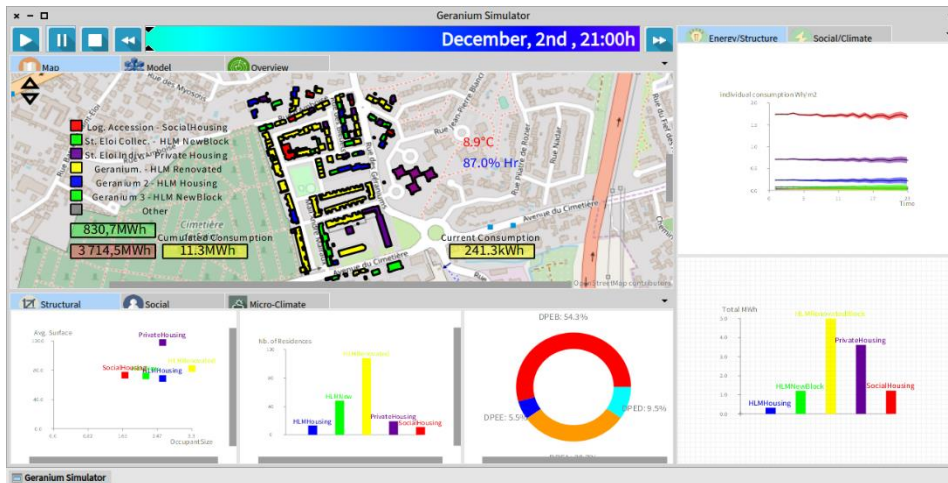


Figure 4: L'interface graphique principale de Géranium

4.3.2.1 Affichage de la carte du cas d'étude

Géranium permet d'afficher via OpenStreetMap, la carte d'une zone d'étude à partir de coordonnées géographiques. La carte affiche les logements (figure 4). Y figurent également les données de température et d'humidité. Certaines données de sortie sont également affichées, comme la consommation énergétique instantanée et la consommation cumulée. Cette dernière est comparable avec des consommations énergétiques cumulées minimum (830,7 MWh) et maximum (3 714,5 MWh).

4.3.2.2 Les graphiques d'entrées

Les différentes données sont représentées sous forme de graphiques regroupés selon trois onglets. L'onglet « Structural » donne à voir les données en fonction de la catégorie de résidence, de leur surface, du nombre d'occupants ainsi que du DPE. (Figure 5). L'onglet « Social » (figure 6) permet de visualiser la composition des foyers, le niveau de revenus selon la catégorie de résidences, l'accession à la propriété et le pourcentage de résidents ayant une forte sensibilité écologique. L'onglet « Micro-climate » (figure 7) affiche l'évolution de la température et de l'humidité au cours de l'année.

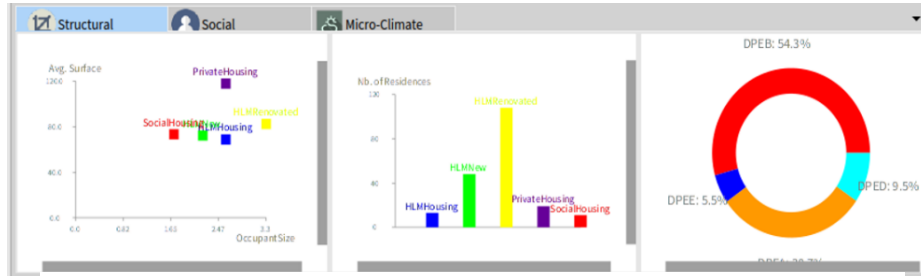


Figure 5: Affichage graphique des données structurelles

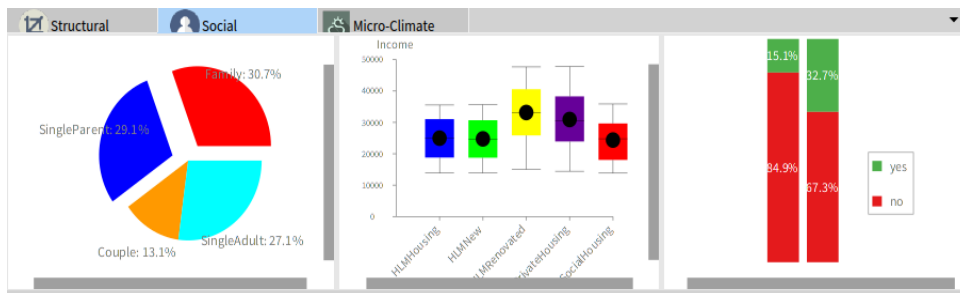


Figure 6 : Affichage graphique des données sociales

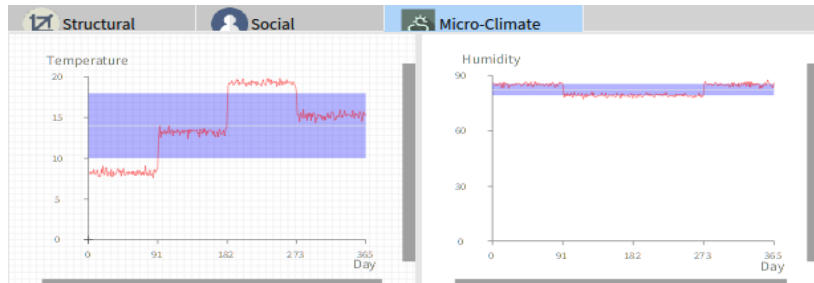


Figure 7 : Évolution de la température et de l'humidité pour une année

4.3.2.3 Graphiques de sorties

La figure ci-dessous affiche la consommation individuelle instantanée (par heure) par m² par jour et la consommation totale instantanée cumulée par catégorie de résidences.

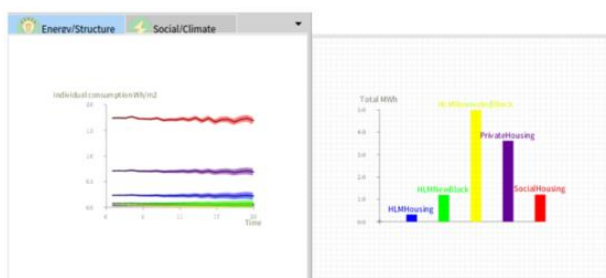


Figure 8 : Graphique représentant le calcul de consommation énergétique par catégorie de résidence et par heure (à gauche) et la consommation cumulée par catégorie de résidence (à droite)

4.3.3 Interfaces interactives de définition des scénarios

Les utilisateurs peuvent interagir avec la plateforme avec deux outils différents : Les What If Scenarios ou le DSL (Domain Specific Language). L’outil What If Scenarios est destiné à des utilisateurs profanes. Dans notre cadre d’utilisation, nous réservons cette interface aux aménageurs publics. L’outil DSL permet de manipuler les valeurs des différentes caractéristiques du modèle (caractéristiques structurelles, sociales et climatiques), à l’aide d’expressions informatiques qui ont été spécialement écrites pour le domaine de la rénovation urbaine. Cet outil est destiné à être utilisé par des personnes maîtrisant déjà la plateforme. Dans notre cadre d’utilisation, ce sont les facilitateurs des ateliers qui manipulent l’outil DSL. Nous présentons ci-dessous ces deux outils.

4.3.3.1 What If Scenarios

L’outil What If Scenarios est une interface graphique qui permet à un utilisateur de manipuler les paramètres du modèle. La figure 9 montre les trois paramètres manipulables : la composition des DPE d’un quartier, le pourcentage d’habitants ayant une forte sensibilité écologique et la température. L’utilisateur peut faire varier la proportion à l’aide d’un curseur situé en haut de chaque graphique. Ce changement est opéré de manière

instantanée sur l'interface de Géranium. L'interface permet aux utilisateurs d'imaginer et de tester différents scénarios successivement contribuant ainsi à un apprentissage expérientiel.

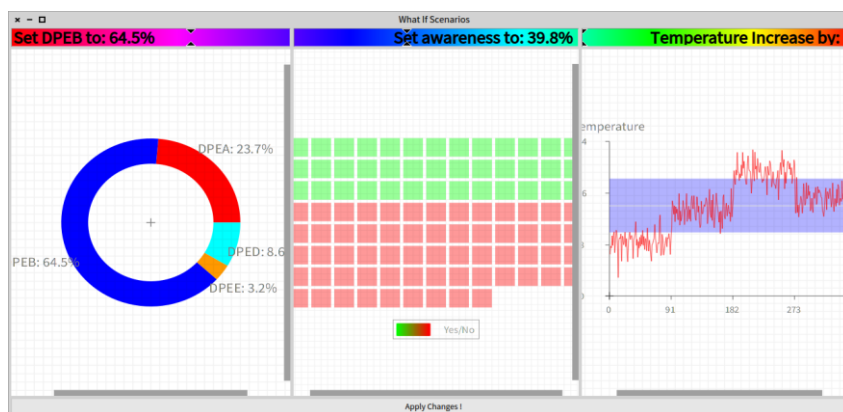


Figure 9: Interface interactive: What If Scenarios

4.3.3.2 DSL : Domain Specific Langage

L'outil DSL permet aux utilisateurs de spécifier un nouveau scénario en ayant accès à l'ensemble des paramètres du modèle. Ces paramètres sont regroupés dans un premier temps dans une classe appelée `StatisticalScenario`. Cette classe de paramètres fait appel à d'autres classes de paramètres qui sont : la classe des profils de résidences avec leurs profils d'habitants, la classe du profil climatique, la classe des caractéristiques régionales de la consommation énergétique, la classe de calibration des paramètres pour le calcul de la consommation énergétique des résidences et la durée de la simulation.

Le code suivant (Programme 1) est un exemple de spécification d'un `StatisticalScenario`.

Programme 1 : Scénario statistique global

```
StatisticalScenario
  named: #Geranium;
  coordinates: (46.16352961038194 @ -1.1302614212036133)
-> (46.166851083597415 @ -1.1267745494842527);
  totalNumberOfBuildings: 56;
  totalNumberOfResidences: 186;
  nbResidencesForEachCategory:({
    #HLMRenovated.
    #HLMNew.
    #HLMHousing.
    #SocialHousing.
    #PrivateHousing
    } nb: { 108 . 48 . 13 . 11 . 19 });
  climateProfile: #LaRochelleAverage;
  trendsProfile: #RegionalConsumptionTrends;
  weightsProfile: #ExceedingDPEHypothesis;
  seed: 23424080;
  years: 1.
```

Le code suivant (Programme 2) est un exemple de spécification d'un profil de résidences composées d'appartements rénovés et de ses habitants. Il définit le DPE, la surface, le nombre d'occupants, le nombre d'enfants, le revenu, la modalité de transport, le choix de consommation, l'usage d'instruments pour améliorer l'efficacité énergétique et la propriété. La sensibilité est agrégée par Géranium à partir de modalité de transport, le choix de consommation et la connaissance de la gestion temporelle de l'énergie.

Programme 2 : Profil d'Appartements

```
UrbanProfileForAppartment new
  named: #HLMRenovated;
  category: DPEB;
  surface: [50->115];
  occupantClass: {SingleAdult . Couple . SingleParent . Family} % {12.5 . 19.0 . 31.0 . 37.5};
  numberOfChildren: [1 -> 4];
  income: [(1150.0*12) -> (4000.0*12)];
  transportMode: {OnFoot . PublicTransport . Bicycle . Car . Other} % { 5 . 5 . 14 . 71 . 5 };
  consumptionChoice: {envPerfPriority . productQualityPriority . pricePriority} % { 23 . 24 . 53 };
  peakOffPeakHours: {use . dontUse . dontKnow} % { 31 . 47 . 22 }
  ownership: false % 100.
```

La pluralité d'interfaces interactives composant cet outil est un moyen efficace pour s'adresser à différents types de participants (décideurs publics, scientifiques, ...) tous en s'adaptant au public. L'une des difficultés rencontrées dans ce domaine étant la différence de vocabulaire entre ces différents acteurs, le DSL et l'interface What If Scenarios sont une première étape pour y répondre. Ils permettent aux spécialistes de s'exprimer dans un scénario et de gérer certains éléments du modèle, et aux décideurs, de manipuler certains concepts et d'en observer les résultats.

4.4 Retour des acteurs de terrain.

À la fin de la première phase du projet, et avant d'entamer l'étape d'adaptation de la simulation en une simulation participative, l'outil Géranium a été présenté et testé par trois directrices du service Environnement et Aménagement Urbain de la collectivité et de l'Office Public de l'Habitat (OPH). Ces dernières ont pu découvrir le modèle, se familiariser avec les interfaces et le tester.

Leurs retours ont permis de conclure que l'outil de simulation numérique est synthétique (il intègre et reflète bien les composantes structurelles, sociales et climatiques), attractif (les interfaces interactives incitent l'utilisateur à tester différents scénarios) et qu'il procure des résultats intéressants, notamment du fait que les temps de simulation sont courts et que l'utilisateur peut donc tester plusieurs scénarios au cours d'un atelier d'une à deux heures.

Toutefois, deux points faibles ont été identifiés. D'une part, l'outil ne répond pas aux difficultés de cloisonnement entre les différents services d'une collectivité mais aussi avec l'OPH. En outre, les trois directrices qui ont testées l'outil indiquent que les dynamiques sociales agissant sur l'efficacité énergétique ne sont pas assez mises en avant, à contrario des éléments techniques.

À l'issue de ce retour des gestionnaires, il est apparu d'autant plus important de développer des mécanismes de jeu et une scénarisation, adaptés à la thématique de la rénovation urbaine. C'est ce que nous allons voir dans la partie suivante.

5. Démarche pour adapter une simulation à un usage participatif

Pour adapter le modèle de simulation à un usage participatif de la simulation, dans un premier temps, nous avons veillé à ce que les mécanismes soient ergonomiques et adaptés aux aménageurs publics de rénovation urbaine. Dans un second temps, nous proposons de scénariser la simulation participative avec la démarche de prospective, ce qui permettra de mettre en exergue l'incertitude, de développer des mécanismes de décisions et de proposer un cadre d'usage à la simulation participative.

Les mécanismes de jeu visent à favoriser l'engagement des acteurs et donc une réflexion autour d'objectifs communs et de prises de décisions concertées. La scénarisation de l'atelier quant à elle, permet de mettre en débat l'ensemble des données du modèle (et leurs limites), ainsi que les notions de sensibilité écologique, de DPE ou bien encore de confort (absente dans la simulation). Les adaptations à réaliser visent donc à ce que les ateliers de simulation participative soient des temps où l'on débat des données et des résultats de simulation mais également de sujets ou de notions non numérisables.

5.1 Des mécanismes ergonomiques et adaptés au public

A l'heure actuelle, l'outil Géranium est un outil qui permet de concentrer des résultats de différentes natures dans un même modèle, en agrégeant des données quantitatives issues d'enquêtes, des données météorologiques et des paramètres physiques du bâtiment. Ainsi, il permet de traiter des résultats de différents domaines de recherche sur la rénovation urbaine et de calculer une consommation énergétique instantanément à l'échelle du quartier, une donnée intéressante pour les acteurs de terrain. Cela permet ainsi, de répondre aux besoins de spontanéité de la décision et de l'action permettant d'entretenir le flow. Outre la performance de l'outil du calcul, la précision du calcul est également importante. Ce niveau de précision doit être bien équilibré pour que l'outil soit à la fois performant en temps de calcul, représentatif de la réalité des acteurs de terrain et de la complexité du système.

Pour que l’outil Géranium puisse remplir son rôle d’objet intermédiaire (Vinck, 1999) les multiples interfaces graphiques illustrent de différentes manières les résultats de consommation énergétique. Cette diversité de représentation est adaptée à une typologie diversifiée d’utilisateurs. Par exemple, la consommation énergétique est exprimée à la fois à l’échelle du quartier ce qui est adaptée aux scientifiques du projet, et à la fois en individu par m² ce qui est l’unité utilisée par les acteurs de terrain. Le fait de présenter différentes échelles permet, en outre, de décaler les points de vue habituels et de faire émerger des réflexions à d’autres échelles spatio-temporelles et sociales sur l’efficacité énergétique (de l’immeuble au quartier ; de la consommation instantanée à la courbe de consommation annuelle ; de la performance des bâtiments aux usages durables).

Ainsi, Géranium devient un support ergonomique et adapté au public avec une souplesse lui permettant de créer des espaces de discussions et de partage de connaissances et de points de vue (Barreteau, 2003). Les participants ont en effet, la possibilité d’élaborer un langage commun et une représentation partagée du système (Etienne, 2010).

Pour aller plus loin, l’outil DSL intégré dans le modèle de simulation permet aux participants d’ouvrir “la boîte noire” et de modifier avec le recours de scientifiques, l’ensemble des données implémentées dans le modèle. Il peut ainsi devenir un support co-construit entre scientifiques et gestionnaires pour réfléchir à un programme de rénovation urbaine sur un nouveau quartier.

5.2 La scénarisation de la simulation Géranium

Dans la perspective de scénariser le dispositif, nous proposons d’intégrer l’outil dans un atelier ayant une démarche de prospective. Cette dernière est souvent réalisée en trois phases : état des lieux, exploration, planification.

La première phase d’état des lieux, consiste à observer et à comprendre la situation territoriale abordée, notamment à l’aide d’outils statistiques. En l’état, Géranium propose déjà un état des lieux du quartier et permet d’explorer l’ensemble des données constituant le modèle.

La phase exploratoire d’une démarche de prospective consiste à tester différents scénarios pour observer les évolutions possibles du système urbain. En l’état, les deux interfaces interactives de l’outil Géranium permettent de

modifier différents paramètres et d'analyser leurs impacts sur la consommation énergétique au cours du temps. Afin de scénariser la simulation, nous envisageons de mettre en place un objectif collectif à atteindre qui serait une consommation énergétique « idéale ». Afin que les participants atteignent cette consommation, ils pourraient réaliser des actions permettant de changer les paramètres mis en place dans l'outil What If Scenarios. Par exemple, rénover ou construire des bâtiments pour améliorer les DPE du quartier et mettre en place des campagnes de concertation ou de sensibilisation sur la mobilité ou sur les modes de consommation afin de faire varier la sensibilité écologique des ménages du quartier. En outre, pour stimuler l'engagement des participants de la simulation (maintien du flow), il est important que l'objectif soit difficile à atteindre et qu'il y ait un défi à relever. Ainsi, nous envisageons de monétariser les actions. Une fois les actions réalisées, l'animateur peut intégrer les modifications dans le modèle et lancer la simulation afin d'obtenir une nouvelle consommation énergétique. Ainsi, la démarche que nous envisageons, consisterait pour l'utilisateur non plus à modifier des paramètres, mais à gérer et à évaluer des indicateurs. La gestion d'indicateurs, ou de tableaux de bord, est un mécanisme de jeu que l'on retrouve fréquemment dans les dispositifs de jeu sérieux (Prensky, 2001).

La phase de planification d'une démarche de prospective consiste à construire des actions, des projets qui permettront de répondre aux enjeux qui sont soulevés dans le modèle. Le modèle Géranium permet de soulever des réflexions intéressantes mais ne permet pas de les tester. Par exemple un participant issu de l'OPH exprime « *nous sommes au maximum financièrement pour la performance énergétique des bâtiments [évoque l'enveloppe] mais on se questionne sur l'équilibre des fonds déployés et sur le suivi des habitants après rénovation* ». On constate que Géranium a besoin d'être complété par d'autres mécanismes de jeu pour être opérationnel avec les acteurs de terrain. La suite d'outils de planification créé par l'IRSTEA, CoOPLAaGE, est un très bon exemple de méthodes permettant de passer du terrain au jeu et du jeu au terrain (Ferrand et al., 2017)¹³. Cette dernière propose des outils, comme l'outil Cooplan, permettant d'évaluer la faisabilité

¹³ <https://sites.google.com/site/watagame2/cooplaage-tools>

sur le terrain des actions envisagées dans le jeu et de prioriser chacune d'entre elles afin d'élaborer un futur programme d'aménagement.

En outre, la scénarisation de la simulation vise également à ré-introduire dans le dispositif des éléments de dynamique sociale tels que les jeux d'acteurs et les négociations entre les services associés aux projets de rénovation urbaine. Pour ce faire, nous envisageons d'ajouter un système de rôles dans le design de nos ateliers participatifs, qui permettrait de mettre en exergue ces rapports de force. Les différents services d'une collectivité (Politique de La Ville, Transition Écologique et Urbanisme) et les bailleurs sociaux pourraient être représentés sous forme de différents rôles à jouer. Cette scénarisation permettrait de simuler la sectorisation des collectivités, et les divergences des différentes représentations et intérêts.

6. Conclusion

La rénovation urbaine est un enjeu primordial dans le contexte actuel du changement climatique, favorisant la reconstruction de la ville sur elle-même tout en fixant des objectifs de sobriété énergétique, de mixité sociale et d'amélioration du cadre de vie. A travers de nombreux projets de rénovation, des acteurs publics sont amenés à travailler ensemble sans avoir pour autant des outils ou des méthodes à leur disposition pour échanger à partir de leur expertise, apporter des recommandations ou donner leur avis tout simplement. Pour répondre à cet enjeu, nous avons proposé un outil de simulation participative, centré sur la consommation énergétique des ménages à l'échelle du logement et du quartier, pour favoriser les échanges entre services de collectivités, bailleurs sociaux et tout autre partenaire impliqué dans la coordination d'un projet de rénovation urbaine. Si de tels outils existent déjà, ils s'adressent généralement aux habitants afin de les impliquer dans le projet de rénovation de leur résidence, très peu sont à destination des gestionnaires. Ainsi l'outil participatif Géranium est novateur sur cet aspect. Il permet une mise en discussion à partir de l'élaboration de différents scénarios et d'obtenir de manière instantanée les résultats de choix de planification en matière de consommation énergétique.

À l'issue de la première phase du projet, le dispositif Géranium consiste essentiellement en un modèle de simulation numérique, et il ne répond pas

encore à l'intention participative que nous lui prêtons. En effet comme l'a montré Barreteau et al. (2001) une simulation informatique seule, lorsqu'elle est utilisée auprès d'acteurs n'ayant pas participé à son élaboration peut faire figure de « boîte noire ». Ce concept illustre le fait que le fonctionnement du modèle reste opaque pour les utilisateurs, tant que ces derniers n'ont pas la possibilité d'éprouver les rouages du modèle. C'est pour cela que Barreteau et al. (2001) ont utilisé le média du jeu afin de permettre aux utilisateurs de manipuler le modèle et de questionner ses données et ses hypothèses. La deuxième phase du projet qui introduit des mécanismes de jeu et une scénarisation présentés ci-dessus, vise à ouvrir la « boîte noire » du modèle, permettant ainsi aux futurs utilisateurs de pouvoir questionner par exemple les données d'entrées telles que les valeurs de DPE. Toutefois la démarche de développement de l'outil prévue en deux phases, complexifie l'intégration des règles de jeu une fois que la structure du modèle est conçue. Ainsi lorsque l'usage participatif d'une simulation fait partie des objectifs du projet dès le départ, il apparaît plus judicieux d'associer les temps de développement du modèle de simulation, et de conceptualisation de son usage participatif.

Enfin, l'une des limites actuelles de la simulation est qu'elle rend compte du rôle des comportements des habitants dans la consommation énergétique au travers d'un unique indicateur de sensibilité écologique qui est discutable (Brisepierre, 2011), et il serait judicieux de pouvoir étoffer cet aspect dans de futurs développements de l'outil. Au-delà de cette prise en compte des comportements des habitants, il est important de s'intéresser aux leviers pour accompagner les changements de comportements, dont Martin et Gaspard (2017) ont montré l'importance dans la transition environnementale. Dans le cadre des politiques d'aménagement, les acteurs publics peuvent faire appel à différents instruments pour influencer sur les comportements : des contraintes réglementaires, des incitations financières et de la sensibilisation. Or, Zélem (2010) fait le constat que ces outils juridiques ou incitatifs imposent un cadre normatif qui contraint les acteurs à adhérer au projet, ce qui n'induit pas un changement de pratique sur le long terme. Le troisième levier, celui de la sensibilisation est complexe car la sensibilisation des citoyens passe notamment par la participation et cette dernière nécessite de nouvelles fonctions et compétences en matière de facilitation, de négociation, de médiation et de travail en réseau (Bacqué et Gauthier, 2011). Les futurs développements du dispositif Géranium viseront à mettre en débat les

différents instruments de sensibilisation afin de permettent aux acteurs de terrain de réfléchir à l'accompagnement des usagers dans leurs pratiques.

7. BIBLIOGRAPHIE

- ADEME. (2014) *Des Ménages Acteurs Dans Leur Logement*. 4–7. Stratégie & études. N°39
- Aulagnier S., Bourdic L., Cohen M., Poutrel S., Colombert M., Côme JM., Dris Hamed I., Gasser B., Jarrin T., Lespingal O., Laterrase J., Nowacki C., Saglio, A., Salat S., Zerguini S., (2011), *Etat de l'art des indicateurs et outils de calcul de consommation énergétique et de GES - de l'échelle du quartier à celle de l'agglomération : Synthèse des travaux et identification de pistes de recherche à approfondir*. Etude réalisée pour le compte de l'ADEME par : BURGEAP (coordination), ICE, EGIS, CSTB, EIVP, et LVMT
- Bacque M. H., Bellanger E., & Rey H. (2018). *Banlieues populaires. Territoires, sociétés, politiques*. Éditions de L'Aube, coll. Bibliothèque des territoires, 383 p.
- Bacqué M. et Gauthier M. (2011). *Participation, urbanisme et études urbaines : Quatre décennies de débats et d'expériences depuis « A ladder of citizen participation »*, S. R. Arnstein. *Participations*, vol 1(1), 36-66p.
- Bally F. (2015) *Vers Une Transition Énergétique Citoyenne : La Réappropriation Des Questions Environnementales*, Les Acteurs Ordinaires. *Rives Méditerranéennes* vol (51), 67–79p.
- Barreteau O., Bousquet F., Attonaty J.-M., (2001). *Role-Playing games for opening the black box of MAS: method and teachings of its application to Senegal River Valley irrigated systems*. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, vol 4(2)
- Barreteau O. (2003). *The joint use of role-playing games and models regarding negotiation processes: characterization of associations*. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, vol 6(2), 1-22p.
- Barreteau O., Le Page C., et D'Aquino P. (2003). *Role-playing games, models and negotiation processes*. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, vol 6(2), 2-5.
- Barreteau O., Bots P. W., et Daniell K. A. (2010). *A framework for clarifying "participation" in participatory research to prevent its rejection for the wrong reasons*. *Ecology and Society*, vol 15(2), 22p.
- Becu N. (2020). *Les courants d'influence et la pratique de la simulation participative : contours, design et contributions aux changements sociétaux et organisationnels dans les territoires*. (Doctoral dissertation, La Rochelle Université).
- Beslay C et Zelem MC, (2009), *Le paradoxe du consommateur moderne*. Dobré et Juan (direction) *Consommer autrement. La réforme écologie des modes de vie*, Paris, L'Harmattan, collection Sociologies et Environnement

- Bourgeois D., Reinhart C., Macdonald I., (2006). *Adding advanced behavioural models in whole building energy simulation: a study on the total energy impact of manual and automated lighting control*. Energy Build. vol 38 (7) 814–823p .
- Brisepierre G. (2013). *Analyse sociologique de la consommation d'énergie dans les bâtiments résidentiels et tertiaires. Bilan et perspectives*, Paris : Bureau d'études sociologiques GBS, rapport pour l'ADEME, 51p
- Brisepierre, G. (2011). *Du changement des pratiques de consommation d'énergie dans l'habitat collectif*, thèse de sociologie, Université Paris Descartes, 847p.
- Brougère G. (2005). *Jouer/Apprendre.*, Paris, Economica- Anthropos. 479-481p
- Brougère G. (2015). *Jeu et apprentissage à l'école maternelle : mythe ou réalité ?* Anzou-Cailletet, T., Juhel, N., Loret, M. (eds), Jeu et temporalité dans les apprentissages. Retz, Paris, 139-15p.
- Brougère G. (2017). *Qu'apprend-on en jouant à l'école ?*, Canopé Lyon Podcasts, réseau de création et d'accompagnement pédagogiques. Lyon.
- Capellán-Pérez I., Álvarez-Antelo D., Miguel LJ., (2019). *Global Sustainability Crossroads: A Participatory Simulation Game to Educate in the Energy and Sustainability Challenges of the 21st Century*. Sustainability 2019. vol 11, 3672p,
- Collard F. (2018). *La politique énergétique en Europe*. Courrier hebdomadaire du CRISP, vol (38), 5-66p.
- Crookall D., Martin A., Saunders D., Coote A. (1986). *Human and computer involvement in simulation*. Simulation & Gaming, vol 17(3), 345-375p.
- Csikszentmihályi M. (1990). *Flow: The psychology of optimal experience*. New York: Harper and Row.
- Delzende E., Wu S., Lee A., Zhou Y. (2017). *The impact of occupants' behaviours on building energy analysis: A research review*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol 80, 1061–1071p.
- Dong B., Li, Z. et McFadden G. (2015). *An investigation on energy-related occupancy behavior for low-income residential buildings*. Science and Technology for the Built Environment, vol 21(6), 892-901p.
- Donzelot J. (2006) *Quand la ville se défait. Quelle politique face à la crise des banlieues ?* Editions du Seuil, 185p.
- Dujin A., Poquet G. et Maresca B., (2007) *La maîtrise des consommations dans les domaines de l'eau et de l'énergie*. Cahier de recherche n°237 CREDOC
- Duke R. D. (1974). *Gaming: The future's language*. London: SAGE.
- Etienne M. (2010). *La modélisation d'accompagnement: une démarche participative en appui au développement durable*. Versailles Quae Editions.368p
- Ferrand N., Abrami G., Hassenforder E., Noury B., Ducrot R., Farolfi S., Garin P., Bonte B., Morardet S., L'Aot D. (2017). *Coupling for Coping*,

- CoOPLAaGE: an integrative strategy and toolbox fostering multi-level hydrosocial adaptation.* In : Proceedings of the ACEWATER2 Scientific Workshop, Accra, Ghana. Ronco P., Crestaz E., Carmona Moreno C. (eds). Ispra : European Union, 58-63p.
- Genvo S. (2011). *Penser les phénomènes de «ludicisation» du numérique: pour une théorie de la jouabilité.* Revue des sciences sociales, vol 45, 68-77p.
- Haradji Y., Guibourdenche J., Reynaud Q., Poizat G., Sabouret N., Sempé F., Huraux T., Galbat, M. (2018). *Modeling human activity to modeling for social simulation: between realism and technological innovation.* Activités, vol 15(1), 0-23p.
- Klabbers J. H. G. (2009). *The magic circle: Principles of gaming & simulation.* Rotterdam, The Netherlands: Sens publishers.
- Kyriakodis G., Riederer P., et Towards E. B. (2018). *Towards the development of a coupled model for district simulation: buildings, energy systems and microclimate co-simulation,* IBPSA France 2018 (Conference Francophone de international Building Performance Simulation Association), Bordeaux, France. 409-416p.
- L'union sociale pour l'habitat, (2015). *Transformation du bâti et amélioration énergétique : comment impliquer les habitants ?* Repères n°10 Maitrise d'ouvrage, 10- 92p.
- Les Annales de la recherche urbaine, N°103, (2007). *La ville dans la transition énergétique.*
- Lévy J-P., Roudil N., Flamand A., Belaïd F., (2014). « *Les déterminants de la consommation énergétique domestique* », Flux 2014/2 (N° 96), 40-54p.
- Martin S. et Gaspard A. (2017). *Les comportements, levier de la transition écologique ?* Futuribles, N° 419(4), 33p.
- Mermet L. et Salles D. (2015). *Environnement : La concertation appriivoisée, contestée, dépassée ?*, Paris, De Boeck Supérieur Editions. 421p.
- Molines N., Henriot, C., Gidel, T., Fanni, M., Korbi, F., (2018). *URBACT Un serious game numérique pour l' apprentissage de la co production du projet urbain : caractéristique du jeu et rôle de l'enseignant.* 20e rencontres internationales en urbanisme (APERAU 2018), Lille, France
- Grenier A., (2007), *Ville et énergie. Spécificité et complexité de la question en France.* Annales de la recherche urbaine, N°103, 129-136p.
- Prensky M. (2001). *Digital Game-Based Learning.* New York: McGraw Hill.
- Sahakian M., Godin L., Wallenborn G. (2019), *Réduire la consommation énergétique des ménages par l'expérimentation,* les Living Labs ENERGISE. SocioBrief, , vol. 2, 3p.
- Sauvé L., Renaud L., Gauvin M. (2007). *Une analyse des écrits sur les impacts du jeu sur l'apprentissage.* Revue des sciences de l'éducation, vol 33(1), 89-107p.
- Scardigli V. (1992), *Les sens de la technique.* Paris, PUF

- Sun K. et Hong T. (2017). *A framework for quantifying the impact of occupant behavior on energy savings of energy conservation measures*. Energy and Buildings, 146(May), 383-396p.
- Varenne F. (2011). *Modéliser le social. Méthodes fondatrices et évolutions récentes*. Paris: Dunod.
- World Bank. (1994). *The World Bank and Participation*. Washington, DC.
- Vilmin T. (2015). *L'aménagement urbain, acteurs et systèmes*. Marseille, Éditions Parenthèses.
- Zaiem I. (2005). *Le comportement écologique du consommateur: Modélisation des relations et déterminants*. La Revue des Sciences de Gestion, vol 214-215(4), 75-88p.
- Vinck D. (1999). *Les objets intermédiaires dans les réseaux de coopération scientifique: Contribution à la prise en compte des objets dans les dynamiques sociales*. Revue Française de Sociologie, vol 40(2), 385–414p.
- Zélem M. C. (2010). *Politique de maîtrise de la demande d'énergie et résistances au changement. Une approche socio-anthropologique*. Lectures, Les livres.
- Zhang Y., Bai X., Mills F. P., Pezzey J. C. V. (2018). *Rethinking the role of occupant behavior in building energy performance*, Energy and Buildings, vol 172, 279-294p.