



HAL
open science

Introduction à l'application du jeu vidéo à la modélisation multi-agent en archéologie préhistorique

Hugo Ghezal

► **To cite this version:**

Hugo Ghezal. Introduction à l'application du jeu vidéo à la modélisation multi-agent en archéologie préhistorique. 2024. hal-04674436

HAL Id: hal-04674436

<https://hal.science/hal-04674436v1>

Preprint submitted on 21 Aug 2024

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial 4.0 International License

Introduction à l'application du jeu vidéo à la modélisation multi-agent en archéologie préhistorique

Hugo Ghezal ; hugo.ghezal@gmail.com

Résumé : La modélisation multi-agent assistée par ordinateur (ABM) est une méthode qui consiste à créer un modèle d'expérimentation paramétré selon les besoins d'une ou plusieurs problématiques désignées (Thom, 1979). L'ABM constitue désormais une méthode connue et bien développée pour étudier et documenter en archéologie les périodes les plus anciennes comme le Mésolithique ou la Préhistoire (cf. Lake, 2014 pour historique de la modélisation en archéologie). L'ABM permet de tester des hypothèses déjà formulées auparavant mais permet aussi d'en proposer de nouvelles ; elle est notamment utilisée pour mieux comprendre les mécanismes à l'origine d'un phénomène. Par exemple, l'ABM peut permettre de reproduire le contexte environnementale (climat, faune, végétation) d'une région au Paléolithique supérieur et d'y intégrer des agents humains afin de mieux comprendre les stratégies d'exploitation du gibier par les groupes humains préhistoriques (voir Mithen, 1997).

Cependant, malgré son ancienneté et les nombreuses études qu'elle a permis de produire, la modélisation multi-agent est encore aujourd'hui critiquée pour des raisons liées à son accessibilité mais aussi au principe même de modélisation, notamment celui de modélisation du comportement humain et de son irrationalité (Doran, 2000 ; Bailey, 2007).

Nous proposons donc d'aborder la modélisation sous l'angle du jeu vidéo, ce qui permettrait d'intégrer aux modèles un facteur humain « réel » par le biais d'une simulation multi-joueur au sein de laquelle ces joueurs piloteraient des avatars humains dont le comportement serait normalement modélisé par ordinateur. Cela dit, les joueurs ne peuvent pas tous appartenir au milieu de la recherche et ce projet fait nécessairement appel à des notions de sciences participatives peu courantes en archéologie. Cependant, la science participative est déjà largement répandue en sciences naturelles, parfois même par le biais du jeu vidéo (cf. MMOS). L'archéologie déjà habituée à travailler avec le grand public durant l'étape de la fouille et lors des opérations de médiations ne devrait donc avoir aucun mal à s'approprier ces nouveaux outils et les méthodes qu'ils impliquent.

Mots-clés : Archéologie, Préhistoire, modélisation multi-agent, jeux vidéo, sciences participatives.

1. Jeux vidéo et archéologie préhistorique ?

L'économie de subsistance des chasseurs collecteurs du Paléolithique et du Mésolithique était basée sur l'exploitation de ressources minérales (silex), végétales et animales. L'exploitation de ces ressources répondait à un besoin alimentaire et technique (produire des outils et des armes en silex, en os, en bois de cervidé, en bois végétal). Les groupes humains prenaient donc des décisions relatives à l'exploitation de leur environnement, ce qui influençait leur culture et réciproquement. Toutefois, l'archéologie est une science humaine et la compréhension du mode de vie des groupes humains de la préhistoire est limitée à l'étude des seuls vestiges retrouvés sur les sites puisque ces cultures ne connaissaient pas l'écriture ; la plupart des aspects socio-culturels des modes de vie des groupes humains préhistoriques sont donc pour le moment toujours inaccessibles aux chercheurs.

Subnautica est un jeu vidéo dit de « Survival » dans lequel le joueur fait partie intégrante d'un environnement dont il doit tirer parti pour évoluer dans le jeu. Le joueur prend des décisions quant aux ressources qu'il veut acquérir, aux lieux qu'il choisit pour s'établir et aux objets techniques qu'il doit produire dans un environnement aquatique aux contraintes fortes (Figure 1.). Cet environnement est défini par des attributs physiques comme la

température, la profondeur, et la géomorphologie et par des attributs écologiques comme la faune et la flore. Ainsi, les choix économiques auxquels sont confrontés un joueur de *Subnautica* et un *Homo sapiens* du Paléolithique supérieur sont sensiblement les mêmes à la différence que le premier évolue dans un océan et l'autre dans une « steppe à mammouth » par exemple.



(Figure 1.) Capture d'écran à la première personne du jeu *Subnautica*, on peut voir en bas à gauche des indicateurs liés à la santé, à la faim, à la soif et à l'oxygène du personnage. Au milieu en bas sont situés des indicateurs d'inventaire. En premier plan on peut voir un environnement simulé en 3D comprenant végétation, géomorphologie et faune.

De ce fait, nous pouvons nous demander si la modélisation et la simulation en 3D d'un paléoenvironnement du Paléolithique au travers du jeu vidéo pourrait permettre d'étudier les dynamiques socio-économiques et socio-culturelles des sociétés humaines au sein d'environnements aujourd'hui disparus et dont l'étude est désormais impossible.

L'objectif avec un outil comme le jeu vidéo serait de confronter plusieurs « joueurs » à un modèle simulé. Le joueur ferait partie intégrante de ce modèle puisqu'il y serait décisionnaire et acteur des dynamiques agissant en son sein. Bien que les paramètres régissant les actions de ce joueur doivent être sélectionnées au même titre que le sont les paramètres environnementaux pris en compte par le modèle ; le joueur est, à la différence de ces derniers, libre d'interagir ou non avec les autres agents du modèle. De ce fait, le modèle et sa simulation doivent être pensés pour permettre à un joueur d'interagir avec ; le modèle doit donc être spatialisé et la simulation doit bénéficier d'une représentation en 3D ou en 2D. Voici quelques exemples de paramètres environnementaux qui pourraient être pris en compte par notre simulation :

- Les données paléoclimatiques comme la température ou les précipitations annuelles.
- La zoocénose, sa biologie et son éthologie.
- La végétation selon des données paléontologiques et botaniques.

- La géologie et la géomorphologie pour transcrire les ressources exploitables et le relief.
- Les espaces libres de glace (en latitude et en altitude) et d'eau (niveau des mers).

D'autres paramètres sont relatifs aux avatars incarnés par les joueurs qui prendront part au modèle et à sa simulation. Les joueurs pilotent un avatar dont l'intégrité corporelle ainsi que la liberté d'action sont transcrites selon des paramètres cohérents avec la réalité physique et physiologique propre aux êtres humains :

- La musculature selon l'âge, le sexe et l'exercice physique effectué en jeu.
- Les actions motrices possibles.
- La sensation de faim, relative à l'apport nutritionnel de chaque aliment potentiel.
- La chaleur et le froid éprouvés.
- Le sexe et les caractéristiques physiologique variant d'un sexe à l'autre.
- La mort, qui pourrait dans le jeu impliquer la mort définitive de l'avatar.

L'objectif avec cette simulation serait de pouvoir collecter et analyser les données relatives aux décisions prises par des joueurs dans un environnement donné selon leurs interactions avec ce dernier. Pour bien comprendre la démarche que nous entreprenons avec le jeu vidéo, il faut d'abord la comparer avec une autre approche similaire et bien connue en archéologie : L'ABM (Agent Based Modeling) ou modélisation multi-agent en français.

2. L'apport du jeu vidéo et de la science participative à la modélisation multi-agent

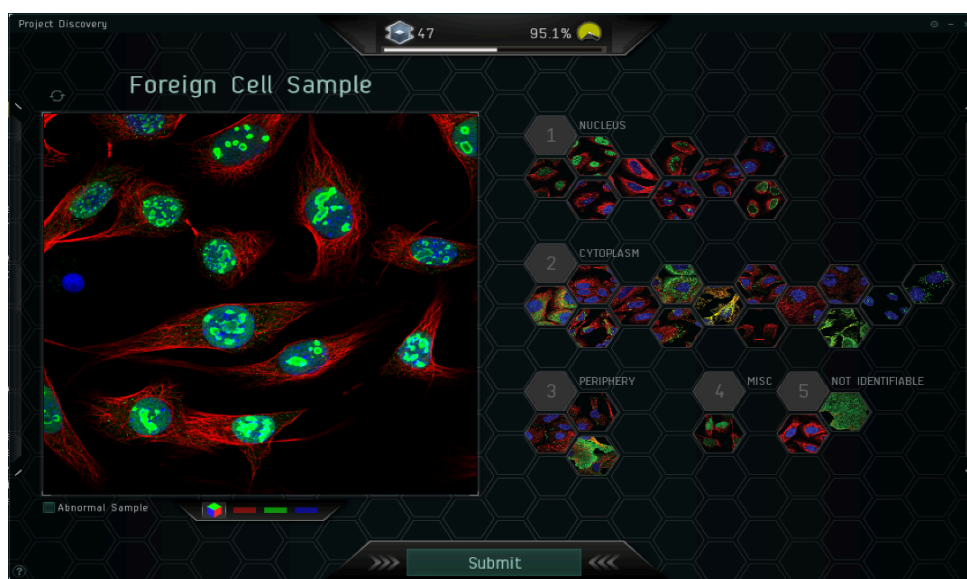
La modélisation multi-agent est une méthode de modélisation algorithmique assistée par ordinateur avec une fonction sélective des propriétés du réel ; elle sépare le pertinent du non pertinent pour concevoir un modèle d'expérimentation paramétré selon les besoins d'une ou plusieurs problématiques désignées (Thom, 1979 ; cf. Abbadie, 1999). Comme exemple de modèle et de ses applications en archéologie préhistorique, nous pouvons citer le travail de modélisation paléoenvironnementale de A. R. Vahdati et de ses collègues (2019) qui ont développé une modélisation multi-agent qui inclut des paramètres géographiques, climatiques et écologiques (faune et flore) pour mieux comprendre quels être peuvent être les mécanismes à l'origine de la dispersion du genre *Homo* depuis l'Afrique.

Bien qu'étant une méthode déjà bien expérimentée, l'ABM n'est pas particulièrement répandue en archéologie et cela pour deux raisons : la première concerne son accessibilité puisque l'ABM peut être techniquement difficile à mettre en œuvre et les données qu'elle produit peuvent être difficiles à analyser (cf. Lake, 2015). La deuxième raison concerne le principe même de modélisation des agents, souvent critiqué par la communauté des archéologues (*ibid*). Si ce n'est qu'une question de temps avant que la question de l'accessibilité soit résolue grâce à des logiciels plus faciles à utiliser, le principe de modélisation du comportement humain est encore critiqué. En effet, certains chercheurs s'avancent sur le fait que la modélisation du comportement des groupes humains, comme c'est le cas dans les modèles de S. J. Mithen (1989) ou de M. Lake (2000) par exemple, impliquerait un déterminisme économique ou/et écologique et une vision utilitariste sous-jacente des décisions humaines (Doran, 2000 ; Gilbert, 1995 ; O'Sullivan et Haklay 2000 ; Bailey, 2007) puisqu'elle n'intégrerait pas l'émotion des êtres humains aux modèles (cf. Lake, 2015). S. J. Mithen (1991) considère pourtant que l'émotion est implicitement incluse dans

les modèles puisque chaque émotion produit des comportements identifiables et peut être simplement considérée comme un générateur de rationalité entraînant à son tour des décisions de la part des agents humains.

Personnellement, je ne pense pas que le débat doive porter sur l'opposition entre la rationalité et l'émotion, qui, comme l'explique si bien S. J. Mithen (*ibid*) ne sont pas des concepts fondamentalement opposés. Les discussions devraient plutôt porter sur la difficulté à modéliser certains aspects culturels et symboliques propres aux êtres humains et ayant une influence incontestable sur leurs stratégies de subsistance. Par exemple, on éprouverait les limites de la modélisation s'il s'agissait de modéliser un interdit alimentaire d'origine culturelle. L'automatisation ne semble pas pouvoir reproduire de comportements irrationnels de ce type qui peuvent pourtant avoir des répercussions majeures sur les modes de vie des groupes humains. Si la classification des émotions et de leurs répercussions comportementales de S. J. Mithen a pour effet de rendre les comportements des groupes humains qu'il modélise plus « réels », elle ne permet pas de représenter les événements naissant d'interactions culturelles complexes entre les individus comme nous en avons donné l'exemple plus tôt.

Dans la mesure où la modélisation présente une forme d'incapacité à représenter l'irrationalité humaine, inclure le facteur humain directement dans un modèle grâce aux jeux vidéo peut permettre en archéologie de minimiser les biais liés aux défauts de conceptualisation et à la difficulté d'automatisation du comportement humain. Cette démarche est comparable à celles conduites lors de l'utilisation de méthodes faisant appel à la science participative en sciences naturelles par exemple, domaines pour lesquels il existe déjà des expériences de sciences participatives réalisées par le biais du jeu vidéo. Par exemple, La start-up suisse [MMOS](#) (Massive Multiplayer Online Science) développe et intègre des « mini-jeux » au sein de licences déjà relativement connues du monde du jeu vidéo (*Borderland 3*, *EVE online*, etc.) et requérant pour les utilisateurs un investissement sur le temps court. Les jeux développés visent à effectuer des protocoles non-automatisables liés à l'observation et qui peuvent seulement être réalisés par un acteur humain (Figure 2.).



(Figure 2.) « Human protein atlas in *Eve online* ». Mini-jeux intégrant de la science participative développé par MMOS en association avec le jeu en ligne *Eve online*.

Ainsi, simuler un paléoenvironnement qui pourrait être investi par un facteur humain « réel » au moyen d'un jeu vidéo simulé en 3D et accessible en multi-joueur semble être un bon moyen de pallier au problème de l'irrationalité des agents humains modélisés en archéologie. Le jeu vidéo tel que nous le concevons impliquant probablement une dimension multi-joueur, la participation d'un nombre relativement élevé d'expérimentés pourrait être nécessaire. Le multi-joueur semblant indissociable d'une diffusion à un public plus large que celui de la communauté scientifique, notre jeu devrait être lié à un principe vidéoludique attractif pour permettre la participation volontaire des joueurs.

Au cours des dernières années, le genre du « Survival » dont notre démarche tire son inspiration a connu un essor considérable et compte de nombreux titres dont le principe consiste à confronter un joueur aux contraintes d'un environnement fictif mimant un écosystème réel. Pour n'en citer que quelques-uns : *Rust*, *The Forest*, *Ark*, *DayZ* sont tout autant d'exemples de jeux multi-joueurs à succès utilisant des environnements modélisés et simulés en 3D et attirant un public toujours plus large. A ce titre, produire un outil d'expérimentation scientifique impliquant de la science participative sous la forme d'un « Survival » est d'autant plus intéressant dans la mesure où l'intérêt scientifique du jeu pourrait contribuer à susciter l'intérêt des joueurs. Une telle simulation pourrait constituer une sorte de passerelle entre les chercheurs et les joueurs qui échangeraient des données scientifiquement exploitables contre une expérience de jeu immersive et fidèle à la réalité. Cela contribuerait aussi à sensibiliser le grand public aux problématiques inhérentes à la préhistoire trop souvent déformées même au sein de l'univers du jeu vidéo (*Far Cry : Primal*, par exemple).

Qui plus est, Le jeu en ligne *World of Warcraft*, qui fut l'un des premiers jeux en ligne massivement multi-joueur, a malgré lui permis de documenter de nombreuses études, tant dans le domaine des sciences humaines (Bainbridge, 2010 ; McKenna et al. 2011 ; Barrett, 2013 ; Trusina, 2021) que dans le domaine médical (Balicer, 2005). La force du jeu vidéo tel que nous l'avons présenté précédemment réside dans le fait qu'il soit conçu en amont en partenariat avec des chercheurs et non a posteriori comme pour *World of Warcraft*. Développer un jeu vidéo en ayant déjà connaissances des problématiques de l'archéologie préhistorique permettrait de mieux utiliser les possibilités techniques offertes par celui-ci afin de concevoir un outil optimisé et efficace dédié à la recherche en archéologie préhistorique. La création d'un tel outil est aujourd'hui envisageable dans la mesure où les outils technologiques sont désormais bien développés, tant en archéologie avec l'essor de la modélisation multi-agent que dans le domaine vidéoludique par l'intermédiaire de moteurs de jeux comme Unity, accessibles et relativement faciles à prendre en main.

3. L'utilisation du jeu vidéo en archéologie et ses biais

Il faut bien comprendre qu'avec le type de simulation que nous exposons ici, le jeu vidéo n'a pas pour prétention de « produire » de la préhistoire. Il faut plutôt appréhender le jeu vidéo comme un immense terrain d'expérimentation que des joueurs investiraient en tant qu'expérimentés. En effet, l'intérêt avec une telle simulation n'est pas tant de définir *ce qu'il s'est produit* mais plutôt de mieux comprendre *ce qu'il aurait pu se produire*. L'apport du jeu vidéo à l'archéologie reste donc similaire à celui de la modélisation multi-agent. Dans un premier temps le jeu vidéo permettrait d'infirmer ou de confirmer des hypothèses préexistantes impossibles à mettre l'épreuve sans modèle ; il permettrait aussi dans un

second temps l'élaboration de nouvelles hypothèses grâce au principe d'émergence¹ propre à la modélisation multi-agent.

Pour prendre un exemple d'application, au Paléolithique supérieur en France, il est admis que le cycle annuel de nomadisme des groupes humains solutréens du Grand-Ouest était fondé sur une dichotomie importante entre la saison froide et la belle saison (Fontana, 2018). Le jeu vidéo pourrait permettre de tester la validité de cette hypothèse en observant dans quelle mesure les décisions des joueurs dans un environnement modélisé et simulé selon des paramètres similaires s'accordent ou ne s'accordent pas avec ce postulat. De plus, le jeu vidéo permettrait aussi d'approcher différemment les mécanismes de ces dynamiques en étudiant les décisions et les comportements des joueurs dans un tel contexte. Pour reprendre l'exemple du cycle annuel de nomadisme, étudier le comportement des joueurs pourrait permettre de s'émanciper des considérations utilitaristes que l'on prête aux groupes humains notamment sur la façon d'investir le territoire et d'exploiter ses ressources. Cela nous autoriserait à porter plus d'attention à l'influence d'autres facteurs comme celle des relations sociales, du genre ou des considérations symboliques jusqu'alors inaccessibles en archéologie. L'intérêt du jeu vidéo réside dans le fait qu'il pourrait s'émanciper des critiques faites à l'ABM en prouvant sa capacité à se défaire du déterminisme économique et environnemental en positionnant un facteur humain réel au centre de la simulation et dont la complexité pourrait désormais être étudiée à une échelle micro-sociale voir individuelle.

Le jeu vidéo rappelle beaucoup le principe de l'ethnoarchéologie puisqu'avec ce dernier on étudierait des sociétés que l'on pourrait qualifier de « réelles ». Le premier reproche qui pourrait donc être fait à notre approche pourrait être le même qui a déjà été fait à la discipline ethnoarchéologique : la société émulée ne représente en aucun cas la société paléolithique et son étude ne serait donc pas pertinente. Cependant, comme nous l'avons dit plus tôt, l'objectif n'est pas ici de créer une représentation du passé mais bien de modéliser et de simuler le plus fidèlement son environnement tout en rapprochant les actions entreprenables par les joueurs au plus près de la réalité pour pouvoir évacuer le maximum de biais et expérimenter le plus largement possible. Le jeu vidéo doit donc être particulièrement exhaustif dans les paramètres qu'il modélise et simule, tant du côté des paramètres environnementaux originellement employés par l'ABM comme la faune, la végétation et le climat ; mais aussi du côté du « game design² » relatif aux avatars des joueurs ainsi qu'aux possibilités et aux limites des interactions qu'il peut exister entre ces avatars et le dit environnement.

La question du game design à employée est essentielle et se trouve au centre de notre démarche, elle représente la principale difficulté à appréhender puisqu'elle n'a encore jamais été abordée en archéologie. Les joueurs doivent pouvoir agir comme ils le souhaitent pour permettre d'intégrer l'irrationalité humaine évoquée plus tôt ; mais ils ne doivent pas non plus pouvoir s'écarter du socle de nos connaissances en archéologie et adopter des comportements qu'on pourrait qualifier de « chaotiques » étant inadaptés à l'identité des avatars qu'ils représentent. En effet, les principaux biais liés à l'utilisation du jeu vidéo

¹ D'interactions simples entre différents éléments d'un modèle peut naître un produit contre-intuitif et non-anticipé par le concepteur dudit modèle : "the whole is greater than the sum of its parts" (cf. Mitchell, 2009).

² « Processus de création et de mise au point des règles et autres éléments constitutifs d'un jeu » (cf. Wikipédia).

résident dans la dissonance qu'il peut exister entre l'identité de l'avatar du joueur et son identité réelle. Bien que le joueur ait conscience d'appartenir à une simulation, le Game design du jeu doit pouvoir le contraindre à agir comme s'il incarnait réellement son avatar pour éviter le comportement déviant évoqué plus tôt. Par exemple, pour que l'expérience ne soit pas biaisée par ce phénomène de conscience et que le joueur fasse preuve d'une implication maîtrisée, la mort de l'avatar devrait être punitive et donc définitive afin que le joueur accorde une véritable importance à la vie de celui-ci. Ce biais a déjà été identifié par R. D. Balicer (2005) dans son étude épidémiologique a propos du jeu *World of Warcraft*.

D'autres biais liés à l'identité du joueur pourraient intervenir, comme les différences qu'il peut exister entre un *Homo sapiens* du Paléolithique supérieur et un *Homo sapiens* du 21^e siècle. Cela nous amène à nous poser la question des différences psycho-cognitives et psycho-sociales qu'il existe entre nous et nos ancêtres et de l'influence de ces dernières sur nos modes de vie. Cependant, à l'heure actuelle l'existence de potentielles différences psycho-cognitives ne peut pas être démontrée et on considère que les *Homo sapiens* du Paléolithique ne diffèrent pas des populations actuelles (cf. A. de Beaune, 2016). Cela dit, qu'il s'agisse de modéliser le comportement d'*Homo sapiens* ou même celui d'*Homo heidelbergensis* ou d'*Homo neanderthalensis*, le genre humain importe peu dans la mesure où un modèle est une représentation simplifiée du réel et l'existence de ces différences, réelles ou extrapolées, n'importe pas dans tous les modèles, et par extensions dans toutes les problématiques.

En effet, les décisions prises par les joueurs ne dérivent que du contexte des décisions qui peuvent être physiquement prises par le genre humain qu'ils incarnent dans le modèle. Ces décisions ne doivent pas être considérées comme celles ayant été directement prises, par exemple, par *Homo heidelbergensis* et ne servent que d'indications à propos de ce qu'il aurait pu se produire. Le comportement produit par les joueurs sert alors à aiguiller les archéologues sur un "champ-des-possibles" pouvant être rapporté à la réalité des données archéologiques. Ce champ-des-possibles est encore une fois particulièrement précieux puisqu'il nous permet de nous éloigner du carcan de nos modèles théoriques, notamment ceux lacunaires et non-expérimentés du fait de l'ancienneté des périodes étudiées.

En ce qui concerne les différences psycho-sociales qu'il peut exister entre nous et nos ancêtres, de nombreuses études ont démontré la capacité des communautés de joueurs présentes sur les jeux vidéo en ligne (les MMORPG³ notamment) à créer de toutes pièces leurs propres schémas psycho-sociaux à l'intérieur même d'un seul et unique jeu (Zabet, 2012 ; Simpson et al. 2018). Utiliser le jeu vidéo permet donc de créer des interactions sociales d'un genre nouveau propres aux avatars des joueurs, au jeu dans lequel ils évoluent et favorables au principe d'émergence que nous privilégions avec le jeu vidéo.

Enfin, il faut nécessairement aborder les limites des problématiques que le jeu vidéo peut couvrir. Si le jeu vidéo pourrait permettre de répondre plus pertinemment aux problématiques liées aux stratégies de subsistance des groupes humains préhistoriques en intégrant l'irrationalité du comportement humain aux modèles, il ne s'émancipe pas pour autant de certaines limites déjà constatées avec la modélisation multi-agent. S. A. De Beaune (2016) reprochait à la modélisation du système économique des chasseurs-cueilleurs mésolithiques américains de T. Kohler (2007) de ne pas prendre en compte les échanges et la

³ Abréviation du terme anglais Massively Multiplayer Online Role-Playing Game.

mobilité à une échelle plus large lorsqu'il limitait géographiquement le territoire modélisé. De fait, le jeu vidéo est confronté au même problème et il faut alors se demander s'il provient de limites techniques dont il est possible de s'émanciper, si les problématiques liées aux échanges et à la mobilité doivent être adaptées selon ces contraintes techniques ou si ce domaine est définitivement hors d'atteinte de la modélisation et du jeu vidéo.

4. Conclusion

L'apport du jeu vidéo en science est aujourd'hui incontestable et la création d'un outil tel que nous le proposons ici est aujourd'hui envisageable dans la mesure où les technologies sont désormais bien développées, tant en archéologie que dans le domaine vidéoludique. Le jeu vidéo permettrait d'envisager des modèles et des simulations en 3D, comme il est déjà possible de le faire avec la modélisation multi-agent pour répondre à des problématiques similaires ; mais il pourrait aussi dans certains cas pallier aux défauts de cette dernière, notamment lorsque les problématiques formulées nécessitent l'intégration de comportements humains complexes, et notamment sociaux. Cette démarche pourrait donc faire appel à des notions de sciences participatives ainsi qu'au grand public puisqu'il est probable qu'il soit nécessaire d'étudier le comportement de nombreux joueurs.

Ainsi, le jeu vidéo tel que nous le proposons ici doit être un outil scientifiquement efficace doublé d'une expérience vidéoludique encourageant les joueurs à y participer. La qualité scientifique de cet outil et sa capacité à produire des données pertinentes et analysables dépendra donc tout autant de sa capacité à reproduire l'irrationalité humaine par un game design adéquat que de sa capacité à convoquer les joueurs pour expérimenter.

Références bibliographiques

- Abbadie**, M.L., (1999). Modélisation et simulation de la dynamique des écosystèmes forestiers : des modèles agrégés aux modèles individuels spatialisés 234.
- Balicer**, R., (2005). "Modeling Infectious Diseases Dissemination Through Online Role-Playing Games". *Epidemiology*. 18 (2): 260–261.*
- Bailey**, G., (2007). Time perspectives, palimpsests and the archaeology of time. *Journal of Anthropological Archaeology* 26, 198–223.
- Bainbridge** (2010). *The Warcraft Civilization: Social Science in a Virtual World*. MIT Press, Cambridge.
- Barrett**, J., (2013). *Virtual Worlds, Machinima and Cooperation over Borders*. Sens public 1053986ar.
- de Beaune** S. A. (2016). Qu'est-ce que la préhistoire ?. *Folio Histoire*.
- Doran**, J. E. (2000). Trajectories to complexity in artificial societies: Rationality, belief and emotions. In Kohler, T. A. and Gumerman, G. J., editors, *Dynamics in Human and Primate Societies: Agent-Based Modelling of Social and Spatial Processes*, pages 89–144. Oxford University Press, New York.
- Fontana**, L., Chauvière F. X., (2018). Économie et nomadisme au Pléniglaciaire supérieur et au Tardiglaciaire en France : le système renne

- Gilbert**, N. (1995). Emergence in social simulation. In Gilbert, N. and Conte, R., editors, *Artificial Societies: The Computer Simulation of Social Life*, pages 144–156. U.C.L. Press, London.
- Kohler**, T. A., Van der Leeuw, S. E., (2007a). Introduction: Historical socio-natural systems and models. In Kohler, T. A. and van der Leeuw, S. E., editors, *The Model-Based Archaeology of Socio-natural Systems*, pages 1– 12. School for Advanced Research Press, Santa Fe.
- Kohler**, T. A. Van der Leeuw, S. E., (2007b). *The Model-Based Archaeology of Socio-natural Systems*. School for Advanced Research Press, Santa Fe.
- Lake**, M. W. (2000). MAGICAL computer simulation of Mesolithic foraging. In Kohler, T. A. and Gumerman, G. J., editors, *Dynamics in Human and Primate Societies: Agent-Based Modelling of Social and Spatial Processes*, pages 107–143. Oxford University Press, New York.
- Lake**, M. W. (2013). Trends in archaeological simulation. *Journal of Archaeological Method and Theory*.
- Lake**, M.W., (2015). Explaining the Past with ABM : On Modelling Philosophy, in: Wurzer, G., Kowarik, K., Reschreiter, H. (Eds.), *Agent-Based Modeling and Simulation in Archaeology*, *Advances in Geographic Information Science*. Springer International Publishing, Cham, pp. 3–35.
- McKenna**, B., Gardner, L.A., Myers, M., (2011). Social Movements in World of Warcraft. *Social Movements* 10.
- Mitchell**, M. (2011). *Complexity: A Guided Tour*. 1. iss. as an paperback. New York, NY: Oxford University Press.
- Mithen**, S. J. (1989). Modeling hunter-gatherer decision making: Complementing optimal foraging theory. *Human Ecology*, 17:59–83
- Mithen**, S. J. (1997). Simulating mammoth hunting and extinctions : Implications for North America. In S. E. van der Leeuw & J. McGlade (Eds.), *Time, Process and Structured Transformations in Archaeology* (pp. 177–215). London:Routledge.
- Mithen**, S. J. (1990). *Thoughtful Foragers: A Study of Prehistoric Decision Making*. Cambridge University Press, Cambridge.
- O’Sullivan**, D. and Haklay, M. (2000). Agent-based models and individualism: Is the world agent-based? *Environment and Planning A*, 32:1409– 1425.
- Simpson**, J.M., Knottnerus, J.D., Stern, M.J., (2018). Virtual Rituals: Community, Emotion, and Ritual in Massive Multiplayer Online Role-playing Games—A Quantitative Test and Extension of Structural Ritualization Theory. *Socius* 4.
- Thom**, R. (1979). Modélisation et scientificité, actes du colloque élaboration justification des modèles. Application en biologie, Tome 1, présenté par Delattre P, Thellier M, Maloine S.A. Editeur Paris, p 21-29
- Trusina** N. (2021). *Communication and Communities in World of Warcraft: Ethnography of a Guild*
- Vahdati** R., Weissmann A., Timmermann J.D., Ponce de León A., Zollikofer M.S. (2019). Drivers of Late Pleistocene human survival and dispersal: an agent-based modeling and machine learning approach. *Quaternary Science Reviews* 221, 105867.
- Zabet**, F.-D., (2012). *Playing together and ritualisation in online game*, thesis, 264.