HAL
open science

Développement d'une interface de simulation multi-agents pour la gestion concertée des territoires pastoraux de moyenne montagne

Thibault Raffaillac, Nadia Boukhelifa, Emilie Crouzat, Fabien Stark, Jean-Pierre Müller, Jacques Lasseur

To cite this version:

Thibault Raffaillac, Nadia Boukhelifa, Emilie Crouzat, Fabien Stark, Jean-Pierre Müller, et al.. Développement d'une interface de simulation multi-agents pour la gestion concertée des territoires pastoraux de moyenne montagne. IHM '23: 34th International Francophone Conference on Human-Computer Interaction, Apr 2023, Troyes, France. 10.1145/3577590.3589606 . hal-04046136

HAL Id: hal-04046136

https://hal.science/hal-04046136v1

Submitted on 25 Mar 2023

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.

Développement d'une interface de simulation multi-agents pour la gestion concertée des territoires pastoraux de moyenne montagne

Development of a multi-agent simulation interface for the joint management of mid-mountain pastoral territories

THIBAULT RAFFAILLAC, SELMET, MUSE, Univ. Montpellier, INRAE, Montpellier, France

NADIA BOUKHELIFA, INRAE, AgroParisTech, Univ. Paris-Saclay, UMR 518 MIA Paris-Saclay, F-91120 Palaiseau, France. ISCPIF, F-75013 Paris, France

EMILIE CROUZAT, Univ. Grenoble Alpes, INRAE, LESSEM, St-Martin-d'Hères, France

FABIEN STARK, SELMET, MUSE, Univ. Montpellier, INRAE, Montpellier, France

JEAN-PIERRE MÜLLER, CIRAD, Campus International de Baillarguet, 34398 Montpellier, FRANCE. UMR SENS, Univ. Montpellier, CIRAD, IRD, UPVM

JACQUES LASSEUR, SELMET, MUSE, Univ. Montpellier, INRAE, Montpellier, France

Alpine pastoralism in the mid-mountains depends nowadays on the coordination of many local actors with different interests. In this context, we seek to accompany the evolution of pastoral practices in the context of consultations between actors of the Alpes Provence Verdon territory. We introduce a graphical interface coupled with a multi-agent simulation, to visualize the impact over time of various land use scenarios, and to represent dynamics (e.g. forest development, tourist presence) at large scales. This interface will be used during concertations organized between local stakeholders and researchers, in order to promote consensus during the planning of actions and facilities on the territory. We present here our prototype interface associated with the multi-agent model as well as its use cases, and discuss its relation to current societal transitions.

CCS Concepts: • **Human-centered computing** → **Geographic visualization**; *Empirical studies in collaborative and social computing*; • **Computing methodologies** → *Multi-agent systems.*

Additional Key Words and Phrases: multi-agent simulations, interactive visualization, comparative visualization, collaborative visualization, action research, territorial concertation

Le pastoralisme alpin de moyenne montagne dépend aujourd'hui de la coordination de nombreux acteurs locaux aux intérêts distincts. Dans ce contexte, nous cherchons à accompagner l'évolution des pratiques pastorales dans le cadre de concertations entre acteurs du territoire Alpes Provence Verdon. Nous proposons une interface graphique couplée à une simulation multi-agents, pour visualiser l'impact dans le temps de scénarios d'usage du territoire, et représenter les dynamiques (ex. développement des forêts, présence touristique) à grandes échelles. Cette interface sera utilisée durant des concertations organisées entre acteurs locaux et chercheurs, afin de favoriser le consensus lors de la planification d'actions et d'aménagements sur le territoire. Nous présentons ici notre prototype d'interface associée au modèle multi-agents ainsi que ses cas d'utilisation, et discutons de son rapport aux transitions sociétales actuelles.

Mots-clés additionnels : simulations multi-agents, visualisation interactive, visualisation comparative, visualisation collaborative, recherche-action, concertation territoriale

Reference:
Thibault Raffaillac, Nadia Boukhelifa, Emilie Crouzat, Fabien Stark, Jean-Pierre Müller, and Jacques Lasseur. 2023. Développement d'une interface de simulation multi-agents pour la gestion concertée des territoires pastoraux de moyenne montagne. IHM '23, April

2023. Manuscript submitted to ACM

3-6, Troyes, France This is the author's version of the work. It is posted here for your personal use. Not for redistribution. The definitive version of record was published in IHM '23 Adjunct: Adjunct Proceedings of the 34th Conference on l'Interaction Humain-Machine. ISBN 979-8-4007-0066-8

1 INTRODUCTION

Le pastoralisme alpin de moyenne montagne est aujourd'hui au coeur de nombreux enjeux. Les évolutions des paysages, liés aux changements climatiques et à des modifications dans l'occupation de l'espace, augmentent les pressions sur la biodiversité et les risques d'incendies de forêts. L'élevage est également confronté à des concurrences croissantes sur l'usage des espaces qui limitent l'accès à des pâtures. Enfin la réapparition récente du loup dans les Alpes a entraîné la réintroduction des chiens de protection des troupeaux, accentuant les risques de conflits avec les touristes et remettant en question l'avenir du pastoralisme dans cette région.

Dans ce contexte nous étudions les modalités de mise en place ou de maintien d'une pratique pastorale adaptée aux changements climatiques [8] : le sylvopastoralisme (i.e. *pâturage en sous-bois*). Cette pratique dépend des usages mis en oeuvre par différents acteurs, décidés en concertation ou isolément en fonction d'objectifs propres à chacun : les éleveurs y voient une source de fourrage pour les troupeaux, les gestionnaires environnementaux un espace de préservation de la biodiversité, les élus communaux des zones de développement économique potentiel, les forestiers une alternative à des productions sylvicoles peu rémunératrices, etc. Les retours d'expérience et travaux récents montrent la plus-value d'une concertation entre acteurs pour la gestion sylvopastorale, et soulignent également le besoin d'accompagner davantage les acteurs de terrain dans cette démarche ambitieuse.

Le travail en cours que nous présentons ici consiste en l'étude de visualisations interactives basées sur des simulations multi-agents, pour favoriser la compréhension des dynamiques temporelles et spatiales des interactions entre acteurs, et encourager le consensus lors des concertations. Il s'agit d'une collaboration de 2 ans entre 10 scientifiques de multiples disciplines (pastoralisme, sciences des organisations, environnement, zootechnie, économie, géographie, modélisation, et IHM), et la communauté de communes Alpes Provence Verdon rassemblant 41 communes. Cette collaboration prend la forme de séminaires réguliers, organisés pour relever et relayer les différents points de vue et discuter l'utilisation future des terrains. Dans ce projet, l'informatique intervient sous deux formes : une Simulation Multi-Agents (SMA) pour anticiper les caractéristiques futures des terrains en fonction des décisions locales, et une interface graphique projetée durant les séminaires pour interagir avec la simulation et servir de support de concertation.

C'est cette dernière que nous présentons ici, et nous traitons en particulier trois questions de recherche :

- Comment représenter des scénarios d'usage d'un terrain en contexte sylvo-pastoral ? (Q1)
- Comment comparer de multiples scénarios représentant les points de vues de différents acteurs ? (Q2)
- Comment adapter rapidement un modèle SMA aux retours des acteurs durant une concertation ? (Q3)

Les contributions attendues de ce travail sont (i) des visualisations spatio-temporelles interactives adaptées à la représentation de décisions individuelles sylvopastorales et la comparaison de scénarios multiples, (ii) des techniques d'interaction pour éditer et tester rapidement un modèle SMA selon les besoins les plus couramment observés durant les concertations, et (iii) des recommendations de conception issues d'un cas applicatif réel, pour des outils interactifs de concertation en contexte agroécologique. Dans cet article, nous détaillons le contexte de ce travail, notre prototype actuel qui sert de base aux innovations techniques, et notre méthode de recherche et d'évaluation.

Acteurs	Rôles
Opérateurs forestiers (ONF, CRPF)	gèrent l'aménagement des forêts, entretiennent les plantations et sentiers
Propriétaires fonciers	gèrent l'accès aux terrains de pâtures, financent les travaux d'entretien
Gestionnaires de milieux protégés (Parc du Verdon, Natura 2000)	règlementent les usages pour préserver les zones naturelles et leur biodiversité
Eleveurs et services pastoraux (CERPAM)	établissent des cahiers des charges aux parcelles pour respecter les conditions des zones protégées et des subventions de l'Etat, et assurer la régénération du fourrage
Elus locaux	aménagent le territoire pour faciliter la pratique pastorale, oeuvrent pour la cohabitation entre les différents acteurs
Associations	limitent l'usage des terrains liés à certains enjeux (ex. zones de chasse, évitement des sentiers de randonnée, protection d'espèce végétale)

Table 1. Liste des acteurs ainsi que leurs rôles influant le devenir du sylvopastoralisme

2 CONTEXTE DE CE TRAVAIL

Le territoire Alpes Provence Verdon a été choisi de par l'expérience de certains membres du collectif, qui y ont conduit des séminaires analogues à ceux que nous planifions, mais sans outil informatique. Sur ce terrain, nous nous intéressons au développement du **sylvopastoralisme** pour associer des enjeux de production animale (laine, lait, déjections et viande) et sylvicole, tout en assurant l'exploitation durable du territoire et le maintien d'activités récréatives. Le sylvopastoralisme consiste à faire paître des animaux sur des terrains forestiers (dits *fermés*), par opposition aux prairies et champs (dits *ouverts*). Alors qu'en milieux ouverts les animaux broutent principalement de l'herbe et des végétaux poussant au sol, en milieux fermés ils mangent également des feuillages et fruits tombés au sol (on qualifie l'ensemble de *biomasse*). Ce moyen de production est généralement considéré comme durable [2, 6] et intéressant dans un contexte de changement climatique, du fait de nombreux atouts :

- La production de biomasse est plus étalée dans le temps que l'herbe grâce à la variété d'espèces en jeu.
- Le couvert forestier protège les animaux du soleil et leur apporte de la fraîcheur.
- Le mélange de milieux ouverts et fermés favorise la biodiversité animale et végétale en combinant des espèces présentes dans les deux milieux [3].
- Les productions pastorale et sylvicole y sont complémentaires, illustrant une dimension *multiusages*.
- La réduction de la biomasse au sol, ainsi que l'alternance entre milieux ouverts et fermés réduisent la propagation des incendies de forêts.

En l'absence d'intervention humaine, les milieux se ferment naturellement sur plusieurs décennies [16]. Or la fermeture du couvert forestier empêche à terme le développement de végétaux au sol et y rend impossible le pâturage [14]. Le sylvopastoralisme dépend donc du maintien d'un équilibre entre milieux ouverts et fermés, qui nécessite une gestion réfléchie du territoire. Les acteurs impliqués et leurs rôles dans cet équilibre sont synthétisés en table 1.

Aujourd'hui, des concertations existent pour rédiger des cahiers des charges liés aux terrains pastoraux. Ces documents définissent des dates d'entrée et de sortie des troupeaux, des nombres d'animaux, des taux de prélèvement (i.e. hauteur d'herbe à laisser en sortie), des modalités d'interventions sur les peuplements forestiers (coupes, éclaircies, ...), et d'éventuelles contraintes (ex. espèce protégée ou à enjeu). Ils visent à assurer la régénération annuelle de la biomasse et le respect des enjeux identifiés. Un autre point important est la rédaction de plans d'actions décennaux par les opérateurs forestiers, qui est un levier au choix d'espèces d'arbres et d'éclaircies forestières. Notre projet vise à investir les concertations existantes, pour aider à la rédaction de ces documents et y soutenir le développement du sylvopastoralisme.

Nous utilisons pour cela des modèles de **Simulations Multi-Agents** (SMA). Dans notre contexte territorial, les modèles sont caractérisés par une grille de *cellules* représentant le terrain, chaque cellule ayant des caractéristiques (ex. quantité de biomasse au sol, nombre de pieds d'une espèce végétale donnée). La grille peut éventuellement être superposée à une carte géographique pour mieux situer le modèle dans son contexte pour toutes les personnes présentes (c'est notre cas). On définit ensuite des processus s'exécutant itérativement en séquence avec un pas de temps donné. Ces processus représentent typiquement des phénomènes naturels quantifiés expérimentalement (ex. croissance de l'herbe en fonction de la pluviométrie et de l'ensoleillement), ou des acteurs qui influent sur le terrain en fonction de règles de décision (ex. faire paître un troupeau là où l'herbe est la plus abondante). Les modèles SMA ont déjà été utilisés pour des concertations en contexte pastoral [13]. Nous nous basons également sur les travaux de Swaab qui ont utilisé des modèles de simulations pour favoriser la compréhension mutuelle dans des situations de négociations [17].

3 TRAVAUX CONNEXES SUR LA GESTION CONCERTÉE ET LA VISUALISATION

Les citoyens peuvent participer à la gestion des ressources naturelles par le biais de différents processus tels que la consultation, la concertation et la négotiation [1, 19]. Arnstein [1] distingue la concertation et d'autres termes connexes par la distance qui sépare les résultats de ces processus de la prise de décision finale. Alors que la consultation se limite à demander l'avis des participants, la concertation implique un certain nombre de parties concernées pour élaborer collectivement des propositions pour un projet. L'objectif n'est pas nécessairement de parvenir à une décision, mais plutôt de s'y préparer, par le dialogue, la confrontation de points de vue différents, la définition d'objectifs communs et le développement de nouvelles idées [5]. Dionnet et al. [5] discutent ensuite de trois méthodes principales pour mener le processus de concertation : le débat public, le jury citoyen et la modélisation d'accompagnement (ComMod).

La méthode ComMod, la plus pertinente pour ce travail, consiste à combiner la concertation avec la modélisation où un groupe d'experts et d'acteurs locaux travaillent ensemble pour simuler différents scénarios. La méthode de modélisation peut être basée sur des jeux de rôle ou des simulations informatiques, mais dans les deux cas elle suit quatre étapes itératives : analyse du contexte et des parties prenantes, développement du modèle, simulation du modèle, et enfin débriefing et discussion des résultats. Notre approche suit celle de ComMod car elle est connue pour être particulièrement adaptée pour travailler avec des ressources naturelles, surtout lorsqu'il y a une incertitude sur leur dynamique [5].

Les visualisations ont été appliquées avec succès aux processus de gestions concertées de divers types de ressources naturelles, en particulier lors des phases de simulation de modèles et de discussions. La plupart de ces visualisations ont tendance à être statiques, en 2D ou en 3D. Par exemple, Mora et al. [12] ont utilisé des scénarios et une visualisation en 2D pour aider à explorer l'avenir possible du système alimentaire mondial. Schroth et al. [15] ont mis en œuvre une visualisation de paysage en 3D pour représenter divers scénarios de changement de paysage. Lewis et al. [11] ont fourni une visualisation 3D qui, selon eux, a permis d'établir un terrain d'entente entre différents groupes culturels dans le domaine de la foresterie. Cependant, seules quelques études ont examiné l'impact de telles visualisations sur le processus de concertation. Hayek et al. [9] ont comparé la visualisation 3D et la visualisation abstraite pour des tâches de planification participative et ont trouvé différents avantages à les utiliser dans des ateliers participatifs. De même, Tobias et al. [18] ont mené des ateliers participatifs avec et sans visualisation et ont constaté que les visualisations qu'ils ont mises en œuvre ont fourni une meilleure base commune pour la communication, mais n'ont que marginalement inspiré les participants à développer de nouvelles idées. Ils ont également trouvé ces visualisations distrayantes, les discussions étant attirées par leurs aspects visuels. Ces résultats suggèrent la nécessité de mener davantage d'investigations pour étudier l'impact de différents types de visualisations dans des contextes de gestion concertée.

Comme Mora et al. [12] qui ont utilisé des scénarios et des visualisations pour aider à explorer un avenir possible, notre travail se concentre sur la comparaison entre des scénarios simulés alternatifs, pour aider les participants à saisir les différents points de vue et à atteindre un consensus sur les moyens d'améliorer la gestion conjointe des territoires pastoraux de moyenne montagne. À ce titre, nous nous appuierons sur les travaux existants en matière de visualisation comparative [7], de visualisation collaborative co-localisée [10] et de recherche de terrain d'entente [4]. Nous irons au-delà des graphiques statiques de base et inclurons une interface interactive qui permette d'explorer de grandes dynamiques spatiales et temporelles.

4 PROTOTYPE DE RECHERCHE

En amont de ce travail nous avons analysé un débat enregistré d'une heure organisé par des membres du collectif de chercheurs avec 9 représentants des différents acteurs. Nous avons ainsi constitué une liste de besoins initiaux à l'aide de notre expert modélisateur :

(1) situer le modèle SMA dans son contexte territorial
(2) échanger les différents points de vue entre acteurs pour "dépolariser" les prises de positions
(3) se projeter dans un futur souhaité et déterminer comment y parvenir
(4) percevoir les grandes dynamiques spatiales et temporelles (ex. fermeture d'un milieu au cours des années)
(5) éditer le modèle SMA par les animateurs durant la concertation

Notre prototype de base est conçu pour répondre en partie à ces besoins (figure 1). Il est développé en HTML/CSS/Javascript pour bénéficier des outils de visualisation puissants disponibles pour le Web (Leaflet, D3 et Vega Lite), et pour faciliter son déploiement futur. Il permet en outre :

- de visualiser l'état du modèle à tout instant mensuel dans le futur à l'aide d'un *slider* (besoin 3)
- de sélectionner les caractéristiques numériques des cellules à afficher, et la couleur à leur associer (besoin 2)
- de modifier le fond de carte, à défaut de connaître les préférences des utilisateurs futurs (besoin 1)
- de sélectionner des caractéristiques visuelles à ajouter par dessus la carte, comme des sentiers de randonnée ou parcelles de cadastre (besoin 1)
- de contrôler les paramètres d'initialisation du modèle via un éditeur de code JSON intégré (besoin 5)

Le modèle SMA étant développé en parallèle de notre prototype, nous avons utilisé ici un modèle arbitraire fourni par l'expert modélisateur, afin de valider l'intégration du modèle dans l'interface bien qu'il soit sans lien avec le présent contexte. L'utilisation attendue de notre outil accompagne un échange direct entre l'équipe d'animation (scientifique ou autre) et un acteur, au cours duquel (i) on sélectionne un fond de carte, des calques et une caractéristique des cellules à afficher selon les préférences de l'acteur, (ii) on modifie les paramètres d'initialisation et les processus à activer pour approcher autant que possible la perception qu'a l'acteur du futur, et (iii) après avoir reproduit les deux étapes pour chacun des acteurs on compare les différents scénarios futurs ainsi constitués (dont des exemples sont donnés ci-après). L'outil n'a pas vocation à guider le processus de concertation mais à l'accompagner. La construction de ce processus est un enjeu majeur du projet de recherche, en conséquence la forme de notre outil est vouée à évoluer à mesure que le processus se raffinera.

5 UTILISATIONS FUTURES DE L'OUTIL

Pour la suite de ce travail, nous avons élaboré des cas d'illustration exploratoires qui guideront les développements futurs. Dans le premier cas d'illustration qui correspond à la question de recherche Q1, on cherche à représenter le point

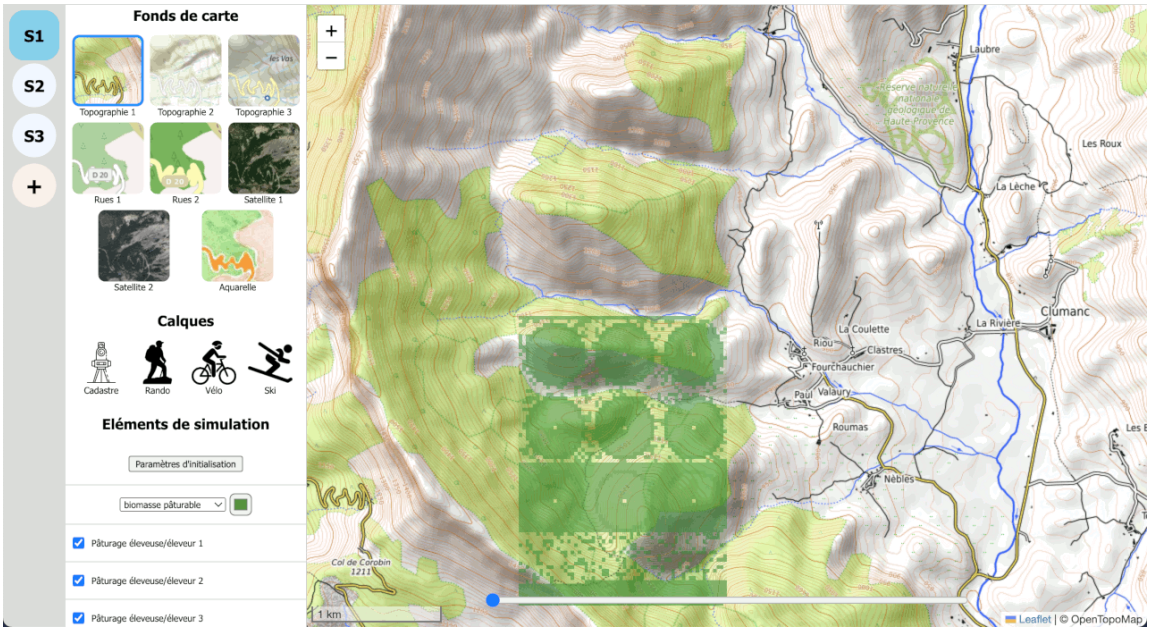

Fig. 1. Interface de visualisation du modèle SMA, avec à gauche les paramètres des visualisations et de la simulation, et à droite une carte du territoire avec le modèle superposé.

de vue et le futur envisagé par un des acteurs. Par exemple, un forestier pourrait proposer un itinéraire spatiotemporel de pâture pour un troupeau, et montrer que cet itinéraire fournit une alimentation suffisante (objectif du berger), tout en laissant une biomasse faible aux abords des forêts (objectif de protection des incendies). Les outils que nous supporterons pour exprimer ces points de vue sont (i) des itinéraires de déplacement des éléments mobiles, (ii) des outils pour peindre sur la carte afin de délimiter des zones signifiantes, et (iii) des courbes à deux axes pour représenter tous types de données numériques. Ces outils seront d'abord mis à disposition des animateurs, et dans un second temps des participants.

Dans le second cas d'illustration correspondant à la question Q2, on cherche à comparer des points de vues entre eux. Ces points de vue sont matérialisés par des scénarios (labélisés **S1**, **S2** et **S3** en figure 1). Par exemple, on pourrait vouloir comparer l'état forestier du territoire à 10 ans, si on effectue ou non des travaux d'entretien des espaces semi-ouverts. La comparaison pourrait montrer la différence de densités d'arbres, mais également les différences en production animale pastorale. Les outils prévus sont pour l'instant des visualisations par superposition et soustraction, mais nous prévoyons d'organiser un *design workshop* pour recueillir les suggestions des experts du domaine et de quelques acteurs du terrain.

Dans le troisième cas d'illustration correspondant à la question Q3, on cherche à éditer rapidement un modèle SMA pour prendre en compte les retours de participants *pendant* le séminaire de concertation. En effet, les experts nous ont rapporté que dans des contextes analogues les modèles SMA favorisaient initialement les débats, mais qu'ils étaient mis de côté dès lors que les participants demandaient des modifications impossibles à effectuer rapidement (ex. implémentation d'une nouvelle stratégie de décision). Les Simulations Multi-Agents sont habituellement programmées à l'aide de langages dédiés, qu'ils soient textuels (ex. Netlogo, GAML) ou graphiques (ex. AnyLogic, Vensim). Dans le cadre de ce projet, nous avons choisi de développer notre modèle directement en JavaScript, afin de l'intégrer facilement

dans une application Web. Ce cas d'illustration reposera sur l'observation des types de modifications les plus demandées lors des séminaires, afin de proposer dans un second temps des raccourcis de programmation plus adaptés.

6 VALIDATION ET DISCUSSION

Des séminaires de travail étant planifiés dès février 2023 avec les représentants de la communauté de communes et des acteurs du terrain, nous prévoyons d'y expérimenter cette première version de l'outil afin de valider sa structure et ses fonctionnalités initiales. Des entretiens ont également été conduits en 2022 pour recueillir les points de vue de différents acteurs locaux. Nous analyserons ces entretiens pour documenter (i) les objectifs de chacun et leurs traductions en critères du modèle SMA, (ii) les types de décisions et raisonnements de chacun et leurs traductions en processus SMA, et (iii) les points de mésententes qui détermineront les données à visualiser en priorité. Enfin, en accord avec le «Guide de concertation territoriale et de facilitation» de Lisode [5] nous évaluerons l'apport de l'outil via un questionnaire post-séminaire, ainsi que la collecte de données d'usage dans l'outil et d'observation des participants.

Pour finir, vis-à-vis du thème de la conférence IHM (*liens avec les transitions*), ce travail sera intéressant en tant qu'illustration d'une recherche sur les interfaces et visualisations pour l'adaptation aux changements climatiques. Nous pensons que l'aspect durable de ce travail est sa vocation à être livré à moyen terme à des animateurs hors du domaine IHM, voire directement aux gestionnaires territoriaux. Son aspect responsable est l'engagement tacite à entretenir l'outil après la fin du projet : c'est une condition importante pour entretenir la confiance des acteurs locaux et poursuivre des collaborations futures. Quant au projet dans son ensemble, son aspect soutenable est qu'il vise moins l'innovation technique et les performances (en agronomie, zootechnie ou informatique), que la compréhension et l'accompagnement d'une communauté locale dans un changement de pratiques.

Enfin, un point qui nous semble particulièrement intéressant est l'aspect *annexe* de l'informatique dans ce projet. Du fait de l'aspect nouveau et captivant des interfaces numériques, les outils informatiques de recherche ont tendance à occuper une place centrale, et à être perçus comme des jouets. Le problème n'est pas l'existence d'une ludification (qui favorise notablement l'engagement), mais le fait qu'elle soit possiblement imposée aux acteurs territoriaux, plus que choisie selon les modalités de conduite du projet de recherche-action. Dans ce projet et par la constitution de l'équipe scientifique, nous chercherons à faire occuper à l'outil informatique un rôle de support, donnant le plus d'importance aux échanges directs entre acteurs. L'interface sera ainsi évaluée selon sa capacité à alimenter les échanges sans retenir l'attention. Nous espérons également que cette position permettra à l'outil d'être pérennisé au delà de la durée du projet de recherche.

REMERCIEMENTS

Cette recherche a bénéficié du soutien de l'institut de convergence #DigitAg et du métaprogramme Biosefair de l'INRAE.

RÉFÉRENCES

[1] Sherry R Arnstein. 1969. A ladder of citizen participation. *Journal of the American Institute of planners* 35, 4 (1969), 216–224.

[2] Alberto Bernués, Tamara Rodríguez-Ortega, Raimon Ripoll-Bosch, and Frode Alfnes. 18 juil. 2014. Socio-Cultural and Economic Valuation of Ecosystem Services Provided by Mediterranean Mountain Agroecosystems. *PLOS ONE* 9, 7 (18 juil. 2014), e102479. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0102479

[3] I. Casasús, A. Bernués, A. Sanz, D. Villalba, J. L. Riedel, and R. Revilla. 2007. Vegetation Dynamics in Mediterranean Forest Pastures as Affected by Beef Cattle Grazing. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 121, 4 (Aug. 2007), 365–370. https://doi.org/10.1016/j.agee.2006.11.012

[4] G. Convertino, C.H. Ganoe, W.A. Schafer, B. Yost, and J.M. Carroll. 2005. A Multiple View Approach to Support Common Ground in Distributed and Synchronous Geo-Collaboration. In *Coordinated and Multiple Views in Exploratory Visualization (CMV'05)*. IEEE, 121–132. https://doi.org/10.1109/CMV.2005.2

[5] Mathieu Dionnet, Amar Imache, Elsa Leteurtre, Jean-Emmanuel Rougier, and Aleksandra Dolinska. 2017. Guide de concertation territoriale et de facilitation.

[6] Ana Margarida P. Fonseca, Carlos A. F. Marques, Teresa Pinto-Correia, and Daniel E. Campbell. 2016. Emergy Analysis of a Silvo-Pastoral System, a Case Study in Southern Portugal. *Agroforestry Systems* 90, 1 (Feb. 2016), 137–157. https://doi.org/10.1007/s10457-015-9888-5

[7] Michael Gleicher, Danielle Albers, Rick Walker, Ilir Jusufi, Charles D Hansen, and Jonathan C Roberts. 2011. Visual comparison for information visualization. *Information Visualization* 10, 4 (2011), 289–309.

[8] G. Guerin. 2008. De La Forêt Pâturée Au Sylvopastoralisme. *Forêt Méditerranéenne* XXIX, 4 (2008), 491–496.

[9] Ulrike Wissen Hayek. 2011. Which is the appropriate 3D visualization type for participatory landscape planning workshops ? A portfolio of their effectiveness. *Environment and Planning B : Planning and Design* 38, 5 (2011), 921–939.

[10] Petra Isenberg, Niklas Elmqvist, Jean Scholtz, Daniel Cernea, Kwan-Liu Ma, and Hans Hagen. 2011. Collaborative visualization : Definition, challenges, and research agenda. *Information Visualization* 10, 4 (2011), 310–326.

[11] John L Lewis and Stephen RJ Sheppard. 2006. Culture and communication : can landscape visualization improve forest management consultation with indigenous communities ? *Landscape and urban planning* 77, 3 (2006), 291–313.

[12] Olivier Mora, Chantal Le Mouël, Marie de Lattre-Gasquet, Catherine Donnars, Patrice Dumas, Olivier Réchauchère, Thierry Brunelle, Stéphane Manceron, Elodie Marajo-Petitzon, Clémence Moreau, et al. 2020. Exploring the future of land use and food security : A new set of global scenarios. *PloS one* 15, 7 (2020), e0235597.

[13] Conrad E. S. Rider and Femke E. Reitsma. 2008. PastureSim : A Visualization Tool for Pasture Management. In *Representing, Modeling, and Visualizing the Natural Environment*. CRC Press.

[14] Victor Rolo and Gerardo Moreno. 2019. Shrub Encroachment and Climate Change Increase the Exposure to Drought of Mediterranean Wood-Pastures. *Science of The Total Environment* 660 (April 2019), 550–558. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.01.029

[15] Olaf Schroth, Ulrike Wissen Hayek, Eckart Lange, Stephen RJ Sheppard, and Willy A Schmid. 2011. Multiple-case study of landscape visualizations as a tool in transdisciplinary planning workshops. *Landscape Journal* 30, 1 (2011), 53–71.

[16] I Stoković, A Rosati, J Rogosić, I Casasús, and D Gabiña (Eds.). 2011. *Animal Farming and Environmental Interactions in the Mediterranean Region*. EAAP Scientific Series, Vol. 131. Wageningen Academic Publishers. https://doi.org/10.3920/978-90-8686-741-7

[17] Roderick I. Swaab, Tom Postmes, Peter Neijens, Marius H. Kiers, and Adrie C.M. Dumay. 2002. Multiparty Negotiation Support : The Role of Visualization's Influence on the Development of Shared Mental Models. *Journal of Management Information Systems* 19, 1 (July 2002), 129–150. https://doi.org/10.1080/07421222.2002.11045708

[18] Silvia Tobias, Tobias Buser, and Matthias Buchecker. 2016. Does real-time visualization support local stakeholders in developing landscape visions ? *Environment and Planning B : Planning and Design* 43, 1 (2016), 184–197.

[19] Hubert Touzard. 2006. Consultation, concertation, négociation. Une courte note théorique. *Négociations* 5, 1 (2006), 67–74. https://doi.org/10.3917/neg.005.0067