

# La carte mentale dynamique comme support d'aide à la réflexion sur les inondations en ville

Franck Taillandier<sup>1</sup>, Patrick Taillandier<sup>2,3,4</sup>, Pénélope Brueder<sup>1</sup>, Noé Brosse<sup>1</sup>

<sup>1</sup>INRAE, Aix Marseille Univ, RECOVER, Aix-en-Provence, France

<sup>2</sup>INRAE, Toulouse Univ, MIAT, Toulouse, France

<sup>3</sup>IRD, Sorbonne Univ, UMMISCO, Bondy, France

<sup>4</sup>Thuyloi Univ, ACROSS, Hanoi, Vietnam

**RESUME** Les villes doivent faire face à deux défis majeurs : le changement climatique (augmentation des événements extrêmes) et l'augmentation de la population urbaine (augmentation de la vulnérabilité de ces territoires). Ces deux défis sont particulièrement importants dans la gestion du risque d'inondation. De nombreux travaux ont montré qu'une stratégie intégrée de gestion des inondations devrait impliquer les citoyens. Nous proposons dans le cadre de ce travail un outil permettant à des citoyens de réfléchir au risque inondation et à sa gestion sur leur territoire. Pour cela, nous allons passer par une approche originale, appelée DYCOMA (DYNAMIC COGNITIVE MAP), couplant les cartes mentales géographiques et la simulation multi-agent participative. Dans cette approche, les participants sont invités à dessiner leur ville, avec les éléments qui leur paraissent importants en lien avec les inondations ainsi que les infrastructures ou éléments qu'ils aimeraient y trouver. DYCOMA, permet instantanément d'animer et de simuler le comportement des éléments dessinés et le déroulement d'une inondation sur ce territoire. Cette approche permet de comprendre la représentation du territoire des participants, de la mettre en regard avec le risque inondation et leur permet de réfléchir à l'impact des choix d'aménagement urbain et des stratégies de gestion des inondations (solutions grises, solutions fondées sur la nature...).

**Mots-clefs** Inondation, Aménagement urbain, Carte mentale, Modèle Agent

## I. INTRODUCTION

Les inondations sont en France le risque naturel le plus important en termes de populations touchées et de dommages aux biens (Panonacle, 2021). Le changement climatique et l'urbanisation ont entraîné une augmentation forte de ce risque dans les dernières décennies et devraient encore l'augmenter dans le futur (Degeai et al., 2022). De nombreux travaux ont montré qu'une stratégie intégrée de gestion des inondations devrait impliquer les citoyens et les communautés locales (Gaillard et al., 2010). Cela passe par l'institution d'un dialogue entre les services gérant les risques et les citoyens, et par un meilleur partage des connaissances et des points de vue sur l'aléa, le risque, les comportements attendus pendant l'événement, mais aussi sur les solutions (structurelles ou non) pour faire face à cet aléa, leurs mécanismes, et leur gestion. Cela peut aller jusqu'à une participation à la gestion du risque : relevé d'informations par les

riverains sur l'état d'un système de protection (e.g. digue), entretien de zones naturelles (e.g. nettoyage, débroussaillage), etc. En amont de ces actions, il est déjà nécessaire de connaître comment les habitants du territoire se représentent le risque inondation et les moyens mis en œuvre pour y répondre. En effet, différents travaux ont démontré l'intérêt de s'appuyer sur les représentations sociales des individus pour initier un dialogue et une réflexion avec eux plutôt que de partir d'informations préconstruites qui seraient simplement diffusées (Weiss et al., 2011).

Les cartes mentales en géographie entrent dans cette logique d'intégration des représentations sociales des habitants (Lariagon, 2015). Levons l'ambiguïté sur ce terme de carte mentale qui se veut la traduction des termes anglais de Mind Map (Bochenek, 2019), Mental Map (Gould and White, 2012) et Cognitive Map (C. Y. Wong, 2010) renvoyant à des outils différents ; la carte qui ici nous intéresse est celle utilisée par les géographes et contient une dimension spatiale. Elle propose au participant ou à un groupe de participants de dessiner et parfois d'écrire leur représentation spatiale d'un système (par exemple une ville ou tout autre territoire) en leur donnant des instructions pour ce faire (par exemple tracer en bleu les zones inondables). On peut ensuite analyser ces cartes pour en tirer des enseignements sur les représentations des participants (Dias and Ramadier, 2017). En miroir, ces dessins représentent un apprentissage pour les participants en se forçant à expliciter leur représentation et ainsi leur connaissance et leur point de vue. Cela les pousse à adopter une posture réflexive sur leur croyance/connaissance qui peut alors permettre d'entamer un débat et des discussions propres à enrichir leur connaissance du système (Poublan-Attas, 1998).

En parallèle, beaucoup de travaux ont démontré l'intérêt de la simulation pour sensibiliser, faire comprendre, faire connaître un système ou un phénomène (Wang et al., 2019). La simulation ne se contente pas de donner un résultat, mais en reproduisant les mécanismes en jeu, permet de faire comprendre le déroulement d'un phénomène ou la dynamique d'un système. Pour renforcer l'intérêt de la simulation, elle peut intégrer des éléments d'interaction ; cela renvoie aux notions de simulation interactive ou de simulation participative (Becu et al., 2016). Il s'agit d'un type de simulation durant laquelle l'utilisateur/le participant peut intervenir pour modifier le cours de la simulation. Cela renforce son implication dans la simulation en lui permettant de tester et d'explorer des scénarios dans la simulation afin d'enrichir ses réflexions.

Nous proposons dans le cadre de ce travail un outil permettant à des citoyens de réfléchir au risque inondation et à sa gestion sur leur territoire en combinant les cartes mentales et la simulation participative basée sur un modèle Agent. Cette approche appelée DYCOMA (DYNAMIC COGNITIVE MAP), sera décrite dans les parties suivantes ; dans un premier temps nous décrirons le modèle MOD-DYCOMA et son implémentation servant de support à l'approche et dans un deuxième temps, nous décrirons l'approche et aborderons les questions qu'elle peut susciter.

## II. MODELE

### A. Principes

MOD-DYCOMA est un modèle original, qui se base sur une architecture Agent. Il va permettre de transformer un dessin en un modèle Agent, par une approche d'agentification des éléments dessinés. Les dessins considérés ici sont des représentations spatiales d'un système. Ils peuvent

intégrer ou non des éléments pré-dessinés (fond de carte). La figure 1 présente un exemple de dessin (ici sans fond de carte) qui pourrait être utilisé dans la démarche. La couleur rouge correspond ici aux courbes de niveau, la couleur noire aux zones urbaines, la couleur verte/jaune aux zones de nature et la couleur bleue à la rivière.

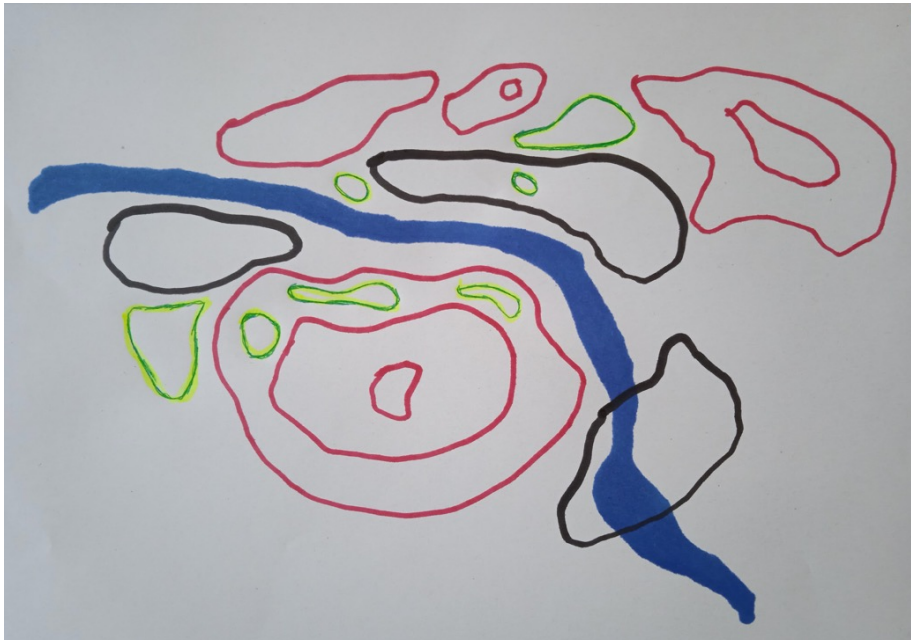


FIGURE 1. Exemple de carte mentale

Le modèle intègre deux composantes : une composante d'agentification et une composante plus classique permettant la simulation participative.

### *B. Agentification*

Le processus d'agentification est déclenché à la demande de l'utilisateur. Cela passe par une première étape de lecture du dessin. Pour cela, nous utilisons une webcam qui va enregistrer l'image filmée. On peut évidemment partir d'une image issue d'une autre source (e.g. image photographiée en amont). L'utilisateur va alors définir les quatre coins de l'image, un algorithme se chargeant de recadrer l'image en supprimant les éventuelles distorsions dues à la façon dont a été photographié le dessin. Cette opération passe par une transformation homographique qui reprojette la région de l'image d'entrée dans une image de sortie rectangulaire. L'utilisateur va également pouvoir définir des classes d'intérêt ; par exemple, il peut définir la classe « zone urbaine » en donnant pour cette classe une couleur associée qu'il peut directement sélectionner sur l'image et un type de géométrie (polygone, ligne, etc.). L'intérêt est ici de proposer une approche générique pouvant s'adapter aux variations sur la façon de dessiner des utilisateurs, la lumière avec laquelle l'image a été prise, etc. Le modèle va ensuite appliquer un ensemble d'opérations : la première va consister à appliquer une binarisation (en noir et blanc) de l'image de façon à définir les zones intéressantes à analyser (celles qui présentent potentiellement des objets à analyser). Cette opération va utiliser, pour définir le seuil de binarisation, la méthode de seuillage flou de Huang basée sur la fonction d'entropie de Shannon (Huang and Wang, 1995).

Une fois les zones intéressantes à analyser définies, le modèle va discrétiser chacune de ces zones sous la forme d'une grille. La taille des cellules de la grille est un paramètre pouvant être modifié par l'utilisateur selon l'échelle (notamment en cas d'utilisation de données géographiques) et la finesse du dessin ; il peut être noté que la grille est régulière (toutes les cellules font la même taille). Chaque cellule de la grille sera comparée en termes de couleur à chacune des classes définies (dont la classe représentant une zone vide) de façon à définir la classe la plus probable à appliquer. Pour définir la classe la plus proche en termes de couleurs, nous utilisons la distance Euclidienne dans l'espace HSB (Hue, Saturation, Brightness) (Koschan and Abidi, 2008). Une fois les cellules affectées à chacune des classes, pour chacune d'entre elle, le modèle va chercher à vectoriser les objets détectés à partir des cellules correspondantes. Pour cela, il va connecter les cellules entre elles pour former des clusters. Chaque objet détecté et vectorisé (formé par le cluster correspondant) va ensuite être utilisé pour créer un agent du type correspondant (identifié par la couleur). Bien évidemment l'ensemble des types d'agents doivent être définis au préalable dans le modèle. MOD-DYCOMA propose dans sa version actuelle 13 types d'agents différents qui sont présentés dans le tableau 1.

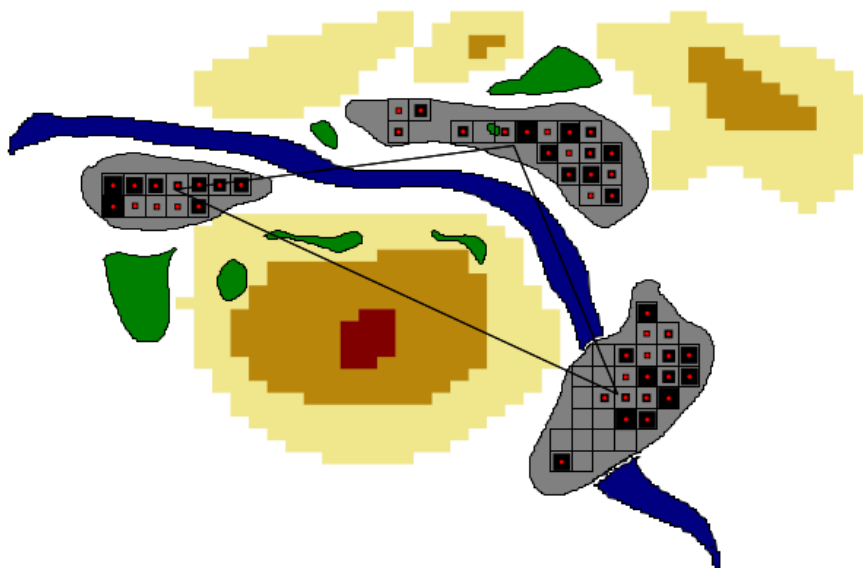
Certains agents sont créés directement à partir des formes du dessin alors que d'autres peuvent être automatiquement générés par le modèle (voir tableau 1). Par exemple, le participant dessine le périmètre de la zone urbaine et définit plusieurs paramètres liés à ces zones urbaines : la densité, le nombre d'étages moyen des bâtiments et l'organisation de la ville (allant de très ordonnée à très chaotique). A partir de ces informations, le modèle génère l'ensemble des bâtiments, des routes et des habitants de cette zone. Il est aussi possible de dessiner individuellement chaque bâtiment et de les identifier telle quelle dans le processus d'identification des formes, mais cela se révèle très fastidieux à l'échelle d'une ville (mais possible à l'échelle d'un quartier). De la même façon, les agents *People*, qui représente les habitants sont automatiquement créés lors de la génération des bâtiments, en suivant la procédure du modèle Si-flo (Taillandier et al., 2021). On peut noter aussi que certains agents seront utilisés dans la simulation alors que d'autres resteront statiques et ne serviront que pour initialiser le modèle (voir tableau 1).

**TABLEAU 1. Agents du modèle DYCOMA**

Agent	Description	Génération	Statique
<i>Water</i>	Rivière, fleuve, lac...	dessin	Oui
<i>Urban</i>	Zone urbaine	dessin	Oui
<i>Nature</i>	Zone naturelle	dessin	Oui
<i>Agriculture</i>	Zone agricole	dessin	Oui
<i>Flood_area</i>	Zone inondable	dessin	Oui
<i>Dyke</i>	Digue, barrage et autres composants chargés d'arrêter l'eau	dessin	Non
<i>Pool</i>	Bassin de rétention, et autre dispositif visant à capter l'eau	dessin	Non
<i>Water_in</i>	Point d'entrée de l'eau dans le système (e.g. point haut de la rivière)	dessin	Non
<i>Topo</i>	Courbe de niveau, traduisant la topographie du territoire	dessin	Oui

<i>ground</i>	Décrit le fond ; cet agent sert d'artefact pour affecter à un agent les éléments non remplis du dessin (restés blanc). Il n'a pas de rôle dans la simulation.	dessin	Oui
<i>Cell</i>	Grille qui supporte la simulation ; elle est automatiquement créée lors du processus d'agentification	automatique	Non
<i>Road</i>	Route ; elles sont directement créées entre les zones urbaines et dans les zones urbaines.	automatique/dessin	Non
<i>Building</i>	Bâtiments ; ils sont automatiquement créés dans les zones urbaines	automatique/dessin	Non
<i>People</i>	Habitants ; ils sont automatiquement créés à partir des bâtiments	automatique	Non

La figure 2 présente le dessin de la figure 1 agentifié. On peut voir sur cette image les agents *Building*, *Road*, *People*, *River*, *Green\_area* ainsi que la topographie portée par les agents *Cell*. La topographie du site est représentée par les formes de couleurs jaune, marron et bordeaux traduisant trois niveaux d'altitude. La rivière est représentée en bleu et les zones naturelles en vert. Les zones urbaines sont en gris clair ; à l'intérieur le modèle a généré des bâtiments (en noir) avec une répartition très ordonnée dans ce cas. Les bâtiments sont tous de forme carrée, mais avec des tailles variables. Le point rouge dans les bâtiments correspond aux habitants de ces bâtiments ; ils vont s'animer avec le lancement de la simulation, mais sont initialisés dans leur bâtiment respectif. Enfin, les lignes en gris foncé représentent les routes qui permettent aux habitants de circuler. Bien évidemment, d'autres éléments pourraient être ajoutés, tels que les ouvrages de protection, les zones agricoles ou les zones inondables ; cet exemple se veut avant tout illustratif.



**FIGURE 2.** Exemple de dessin agentifié (dessin de la figure 1)

Afin de pouvoir combiner information géographique et dessin (par exemple pour ajouter les éléments définis sur un fond de carte), il est possible de rattacher un dessin à un référentiel géographique. Pour cela, on utilise un shapefile de la zone considérée et qui va servir de référentiel pour le dessin (il sera appliqué sur cette même zone). Bien évidemment, si cette option n'intéresse pas l'utilisateur, il est possible de ne pas l'utiliser ; le dessin d'aura alors pas de référentiel géographique défini.

### C. Dynamiques du modèle

Une fois que les différents agents du modèle ont été obtenus à partir de la phase d'agentification, il devient possible de simuler le système. Cela correspond à activer le comportement des différents agents du modèle. Le modèle permet de simuler le système sous deux conditions : dans un fonctionnement normal (hors aléa) et en cas d'inondation (Figure 3).

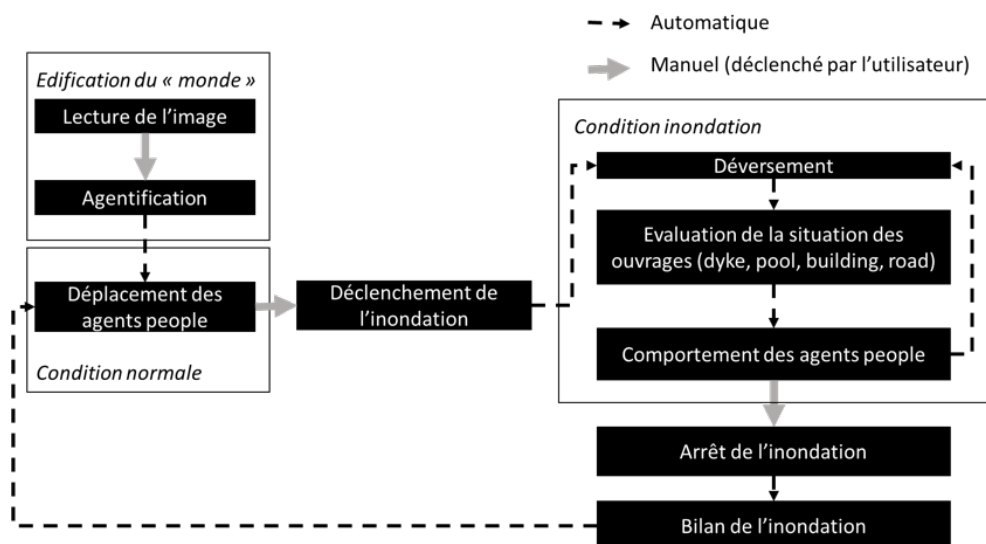


FIGURE 3. Dynamiques du modèle

Dans la condition normale, c'est avant tout les agents *People* qui vont agir, en se déplaçant dans les différents bâtiments pour réaliser leur agenda (i.e. comportement en lien avec la mobilité). Des agendas génériques issus de la littérature ont été retenus (Gaudou et al., 2020). Dans la condition inondation, on simule le déroulement d'une inondation. L'utilisateur déclenche l'inondation quand il le souhaite et peut choisir l'intensité de la pluie qui est supposée tomber uniformément sur le territoire et la quantité d'eau arrivant sur le secteur par l'amont du cours d'eau (au point *Water\_in*). Il est possible pour l'utilisateur de modifier ces paramètres à la volée durant la simulation (e.g. augmenter l'intensité de la pluie). L'arrivée d'eau dans le système va modifier le comportement des agents *People* et activer de nouveaux agents du modèle. Le modèle hydraulique est porté par la grille. Il s'agit d'un modèle simple de déversement repris de MANA-Flo (Taillandier et al., 2022). Le tableau 2 synthétise l'ensemble des comportements des agents du système dans les deux conditions (normale et inondation).

TABLEAU 2. Agents du modèle DYCOMA

Agent	Condition « normale »	Condition « inondation »
Water	Statique	Statique
Urban	Statique	Statique
Nature	Statique	Statique
Dyke	Statique	Peut se rompre en cas de contrainte importante
Pool	Statique	Se remplit avec l'arrivée d'eau jusqu'à atteindre sa capacité maximale
Water_in	Statique	Fait arriver de l'eau à chaque pas de temps
Topo	Statique	Statique
ground	Statique	Statique
Cell	Statique	Gère le déversement de l'eau d'une cellule à une cellule voisine en fonction de son altitude et de la présence d'ouvrages de protection
Road	Gère la vitesse en fonction du flux de véhicules présent dessus	Gère la vitesse en fonction du flux de véhicules présents dessus et de la hauteur d'eau
Building	Statique	Peut se remplir d'eau, occasionnant des dommages dans le bâtiment
People	Suit son agenda en se rendant dans différents bâtiments pour accomplir ses activités (non spécifiées)	Comportement complexe hérité de MANA-Flo (Taillandier et al., 2022)

### C. Implémentation

Le modèle MOD-DYCOMA a été implémenté sous la plateforme GAMA version 1.9 (Taillandier et al., 2019). GAMA est une plateforme de modélisation et de simulation multi-agents qui permet de simuler des systèmes de grande taille et qui dispose de différentes fonctionnalités importantes pour notre modèle. GAMA peut gérer les SIG (importation, modification, exportation), intègre des « skills » (fonction/architecture préprogrammée) dédiés à la mobilité (skills drive et move), au comportement cognitif (skills BDI, BEN...) et à la gestion des interactions utilisateur dans le modèle. La gestion des SIG permet de faire le lien entre dessin et données géographiques et permet ainsi d'introduire des éléments de « fond de carte » pour aider à réaliser le dessin. GAMA permet d'importer directement à la volée des données OpenStreetMap correspondant au territoire étudié. Les skills de comportement (cognitif et déplacement) permettent de construire l'architecture des agents *People* et de faciliter la modélisation de leur comportement. Les fonctionnalités d'interaction donnent des outils pour concevoir l'interface permettant d'agir sur le modèle (e.g. génération de l'inondation et de son intensité). Par ailleurs, au travers de plugins, GAMA permet d'utiliser une webcam pour enregistrer et analyser des images. Cette fonction est utilisée pour enregistrer le dessin qui servira de base au modèle.

A défaut de pouvoir décrire le modèle dans son ensemble dans le cadre de cet article, nous avons déposé le modèle en ligne (Taillandier and Taillandier, 2023). La version déposée est

consultable par tous (open source) et fait l'objet d'un développement en continu (il s'agit ainsi d'une version évolutive). La version actuelle est ainsi amenée à grandement évoluer dans les prochains mois.

## IV. UTILISATION DU MODELE

### A. Principes

Le modèle MOD-DYCOMA est fait pour être utilisé dans le cadre d'un atelier avec un ou plusieurs participants. L'atelier se passe en cinq temps : 1) introduction/briefing 2) dessin, 3) simulation, 4) amélioration, 5) discussion/débriefing. L'ensemble de cet atelier donne lieu à un enregistrement audio qui, en plus du dessin, nous permettra d'exploiter les résultats.

**Introduction.** Dans cette phase, nous expliquons aux participants, après nous être présentés, le principe de l'atelier. Il s'agit avant tout de mettre à l'aise les participants et de les motiver à ce qui suivra. Un point important est de dédramatiser l'importance de ce qu'ils produiront et d'insister sur le fait qu'il n'y a pas de bonne ou de mauvaise réponse, mais que l'on veut juste connaître leur point de vue sur les questions qui leur seront posées.

**Dessin.** Nous demanderons ensuite aux participants au travers d'une série de questions de dessiner les zones urbaines, les zones naturelles, différentes courbes de niveau, les infrastructures de gestion des inondations ainsi que tout élément qui leur semblerait important. On leur demandera aussi de dessiner les zones qui sont selon eux inondables. Tout en dessinant, les participants sont appelés à expliquer oralement ce qu'ils dessinent. Afin de les aider dans cette tâche, on peut leur fournir des éléments pré-dessinés, comme la topographie du territoire ou l'emplacement des rivières. Une fois le dessin terminé, on peut passer à la phase d'agentification des éléments dessinés. Pour cela, on « scan » le dessin avec la webcam et on attribue les couleurs des formes (objets) à des types d'agent (zone urbaine, naturelle...). On demande aussi aux participants des informations sur les zones urbaines (densité, hauteur des bâtiments, organisation), et si nécessaire, sur les reliefs (e.g. altitude minimale et maximale du territoire). Le modèle peut alors transformer automatiquement les objets en agents.

**Simulation.** On peut ensuite lancer la simulation, tout d'abord en conditions normales. On explique aux participants ce qui est simulé. On leur propose de générer une inondation, en leur laissant choisir son intensité. A chaque moment de la simulation, on demande aux participants de s'exprimer sur ce qu'ils voient et comprennent du fonctionnement du système. On leur expose alors des connaissances sur l'inondation et les stratégies de sa gestion en s'appuyant sur l'inondation.

**Amélioration.** On arrête la simulation et on propose aux participants d'ajouter de nouveaux dispositifs pour gérer l'inondation. Pour cette dernière phase, on peut s'appuyer sur les fiches proposées dans le jeu Sim-MANA (Moatty and Taillandier, 2022) qui propose au joueur d'utiliser des stratégies d'ingénierie classique, des stratégies hybrides et des solutions fondées sur la nature pour gérer les inondations. Chaque fiche contient une présentation de la stratégie, ainsi qu'une synthèse de ses forces et faiblesses. Une fois que les participants ont choisi les stratégies qu'ils souhaitent employer et les ont dessinées, on repasse par une phase d'agentification puis de

simulation (avec l'inondation). On demande aux participants de décrire ce qu'ils perçoivent de l'intérêt et de l'efficacité des nouvelles solutions choisies.

**Discussion.** Le dernier temps de l'atelier est assez libre. On demande aux participants de s'exprimer sur leur expérience, sur ce qu'ils ont compris, sur ce qui a changé de leur perception du risque inondation et de la façon de le gérer. Si l'on se trouve sur un territoire bien identifié en amont, et que l'on dispose des données réelles, on peut confronter la représentation des participants par rapport à la réalité (e.g. zones inondables). L'enjeu n'est pas de juger de la compétence des participants, mais de rendre compte des différences potentielles entre perception et réalité.

En plus de ces cinq temps d'atelier, dans le cadre d'un dispositif scientifique, on doit ajouter un procédé d'évaluation en amont (en début d'introduction) et en aval (en fin de discussion) de l'atelier. L'enjeu est de mesurer si cet atelier et l'outil utilisé ont été intéressants pour renforcer les connaissances des participants sur l'inondation, sa gestion et évaluer si cela a modifié leur envie de s'impliquer dans la gestion du risque inondation.

### *B. Discussion*

DYCOMA est une approche encore en construction. Cela se traduit au travers de différents points que nous allons discuter dans cette partie.

**Atelier.** Nous avons donné dans la partie A les principes de ces ateliers. Cependant, il y a encore un pas pour les rendre opérationnels. Il faut définir précisément comment se dérouleront les ateliers : un seul participant ou plusieurs en même temps, sur une ou plusieurs séances, quelles sont les différentes questions à poser, quels éléments à mettre à disposition, etc. Cela nécessite un travail supplémentaire, mais aussi des ateliers test afin d'évaluer la charge cognitive demandée, le temps des ateliers, la capacité des participants à répondre à nos questions, etc. des ateliers test sont ainsi prévus courant 2023. Ils permettront d'affiner ces éléments par cycles amélioration/test successifs. L'élaboration de ces ateliers se fait en collaboration avec des collègues issus des sciences humaines et sociales (géographie, sociologie et psychologie sociale).

**Modèle.** Faire évoluer le déroulement des ateliers pourrait donner lieu à des évolutions du modèle, en termes d'agents à intégrer, de phénomènes simulés, de sorties du modèle, d'interfaces, etc. Le modèle MOD-DYCOMA est un modèle en évolution, conçu pour être flexible et permettre d'intégrer de nouveaux éléments. Bien évidemment, l'ajout de nouveaux éléments dans le modèle conduirait aussi à des travaux d'implémentation.

**Résultats.** Une question importante dans l'utilisation des cartes mentales est la façon dont on exploite les sorties (cartes dessinées, retranscription des dires des participants) pour en tirer des enseignements. Au travers de cette approche, la question principale pour nous est la réflexion que cela suscite chez les participants. Cependant, les sorties des ateliers sont riches et en les croisant cela apporte des éléments intéressants sur la compréhension des perceptions des citoyens sur le risque inondation et sa gestion. Ce point fera l'objet d'un travail supplémentaire en se basant sur les sorties des ateliers test.

**Validation.** Un autre point est l'évaluation de l'approche (est ce qu'elle permet réellement un apprentissage), et ainsi sa validation. Cela présuppose de prévoir des outils d'évaluation (e.g.

questionnaire, pré et post atelier). Bien évidemment, cela nécessite aussi de prévoir des ateliers et de mettre en œuvre la méthode.

## V. CONCLUSION

Nous avons présenté dans cet article une approche (DYCOMA) et un modèle (MOD-DYCOMA) visant à sensibiliser les citoyens au risque inondation et à sa gestion. Cela passe par la combinaison de cartes mentales et de simulation agent participative, permettant aux participants d'explicitier leur représentation du territoire, des inondations et des ouvrages permettant de les gérer, puis de simuler l'ensemble. L'enjeu est de faire réfléchir les participants sur les inondations sur leur territoire et la façon de les gérer, mais aussi à leur possible implication dans la gestion de ces risques. Cet article s'est focalisé sur l'outil, mais il reste un travail important sur la démarche afin de pouvoir rendre DYCOMA réellement opérationnel. Un travail est en cours en ce sens, devant permettre d'élaborer des ateliers et de répondre à différentes questions méthodologiques qui se posent et qui ont été explicitées dans la partie de discussion. Pour accomplir cela, nous avons mobilisé une équipe pluridisciplinaire permettant à des chercheurs de différentes disciplines (génie civil, informatique, psychologie sociale, urbanisme...) de travailler ensemble. DYCOMA sera la base d'un projet qui devrait se poursuivre dans les prochaines années, enrichissant l'approche et le modèle.

## REFERENCES

- Becu, N., Amalric, M., Anselme, B., Beck, E., Bertin, X., Delay, E., Long, N., Manson, C., Nicolas, M., Pignon-Mussaud, C., Rousseaux, F., 2016. Participatory simulation of coastal flooding: building social learning on prevention measures with decision-makers. Presented at the 8th International Congress on Environmental Modelling and Software, p. 1-14.
- Bochenek, M., 2019. The Mind Mapping Technique in Project Management, in: Proceedings of the Creative Construction Conference 2019. Presented at the Creative Construction Conference 2019, Budapest University of Technology and Economics, pp. 463-469. <https://doi.org/10.3311/CCC2019-064>
- C. Y. Wong, 2010. Cognitive mapping on user interface design, in: 2010 International Conference on Computer Applications and Industrial Electronics. Presented at the 2010 International Conference on Computer Applications and Industrial Electronics, pp. 288-293. <https://doi.org/10.1109/ICCAIE.2010.5735091>
- Degeai, J.-P., Blanchemanche, P., Tavenne, L., Tillier, M., Bohbot, H., Devillers, B., Dezileau, L., 2022. River flooding on the French Mediterranean coast and its relation to climate and land use change over the past two millennia. *CATENA* 219, 106623. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2022.106623>
- Dias, P., Ramadier, T., 2017. Relations sociales et cartographie cognitive. Les points de référence comme noyau central des représentations spatiales. *Cah. Int. Psychol. Soc.* Numéro 116, 319-349.
- Gaillard, J., Wisner, B., Benouar, D., Cannon, T., Créton-Cazanave, L., Dekens, J., Fordham, M., Gilbert, C., Hewitt, K., Kelman, I., Lavell, A., Morin, J., N'Diaye, A., o'keefe, P., Oliver-Smith, A., Quesada, C., Revet, S., Sudmeier-Rieux, K., Pauline, T., Vallette, C., 2010. Alternatives for Sustained Disaster Risk Reduction. *Hum. Geogr.* 3, 66-88. <https://doi.org/10.1177/194277861000300106>
- Gaudou, B., Huynh, N.Q., Philippon, D., Brugière, A., Chapuis, K., Taillandier, P., Larmande, P., Drogoul, A., 2020. COMOKIT: A Modeling Kit to Understand, Analyze, and Compare the Impacts of Mitigation Policies Against the COVID-19 Epidemic at the Scale of a City. *Front. Public Health* 8, 587. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2020.563247>
- Gould, P., White, R., 2012. *Mental Maps*. Routledge.
- Huang, L.-K., Wang, M.-J.J., 1995. Image thresholding by minimizing the measures of fuzziness. *Pattern Recognit.* 28, 41-51. [https://doi.org/10.1016/0031-3203\(94\)E0043-K](https://doi.org/10.1016/0031-3203(94)E0043-K)

- Koschan, A., Abidi, M.A., 2008. *Digital Color Image Processing*. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, NJ, USA. <https://doi.org/10.1002/9780470230367>
- Lariagon, R., 2015. La carte mentale: un outil pour explorer la dimension territoriale de l'expérience étudiante? L'exemple des étudiants de licence de l'université technologique de Petatlán (Mexique).
- Moatty, A., Taillandier, F.S., 2022. Un jeu sérieux fondé sur un modèle Agent pour sensibiliser aux Solutions fondées sur la Nature pour gérer les inondations. *Acad. J. Civ. Eng.* 40, 1–4. <https://doi.org/10.26168/ajce.40.1.1>
- Panonacle, S., 2021. *Ecologie, Développement et mobilité -durables - Protection de l'environnement et prévention des risques*. Commission du développement durable et de l'aménagement du territoire sur le projet.
- Poublan-Attas, V., 1998. *L'espace urbain déformé: transports collectifs et cartes mentales* (phdthesis). Ecole Nationale des Ponts et Chaussées.
- Taillandier, F., Di Maiolo, P., Taillandier, P., Jacquenod, C., Rauscher-Lauranceau, L., Mehdizadeh, R., 2021. An agent-based model to simulate inhabitants' behavior during a flood event. *Int. J. Disaster Risk Reduct.* 64, 102503. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2021.102503>
- Taillandier, F., Moatty, A., Curt, C., Di Maiolo, P., Beullac, B., Brueder, P., 2022. La modélisation Agent pour sensibiliser aux Solutions Fondées sur la Nature pour gérer les inondations, in: *JFSMA 2022. SMA et Smart Cities*. Presented at the Journées Francophones sur les Systèmes Multi-Agents, St Etienne.
- Taillandier, F., Taillandier, P., 2023. *Dycoma*.
- Taillandier, P., Gaudou, B., Grignard, A., Huynh, Q.-N., Marilleau, N., Caillou, P., Philippon, D., Drogoul, A., 2019. Building, composing and experimenting complex spatial models with the GAMA platform. *GeoInformatica* 23, 299–322. <https://doi.org/10.1007/s10707-018-00339-6>
- Wang, C., Hou, J., Miller, D., Brown, I., Jiang, Y., 2019. Flood risk management in sponge cities: The role of integrated simulation and 3D visualization. *Int. J. Disaster Risk Reduct.* 39, 101139. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2019.101139>
- Weiss, K., Girandola, F., Colbeau-Justin, L., 2011. Les comportements de protection face au risque naturel : de la résistance à l'engagement. *Prat. Psychol., Psychologie sociale appliquée a l'environnement* 17, 251–262. <https://doi.org/10.1016/j.prps.2010.02.002>