



Bonnes pratiques et recommandations pour l'utilisation de cartes cognitives floues (FCM) dans la conservation de la biodiversité pour produire des scénarios

REDACTION

Cécile Jacques, Fondation pour la recherche sur la biodiversité
Charlotte Navarro, Fondation pour la recherche sur la biodiversité
Seyna Smoes, Fondation pour la recherche sur la biodiversité

COORDINATION

Juliette Young, Inrae

RELECTURE

Robin Almansa, Fondation pour la recherche sur la biodiversité
Aurélie Delavaud, Fondation pour la recherche sur la biodiversité

Table des matières

COORDINATION ET REDACTION	2
Introduction	4
1. Résultats clés	6
1.1. Intérêt reconnu de l'utilisation des cartes cognitives	6
1.2. Apprentissage et recommandations pour l'utilisation des cartes cognitives.....	9
1.2.1. Matériels et méthodes	9
1.2.2. Engagement des parties prenantes.....	16
1.2.3. Utilisation des FCMs pour la construction de scénarios.....	19
1.3. Défis liés à l'utilisation de la cartographie cognitive floue	19
2. Discussion et perspectives futures.....	22
Conclusion.....	30
ANNEXE I Méthodes.....	31
Processus de recherche : cartographie de la littérature	31
Analyse du corpus	32
Références	34

INTRODUCTION

Dans le cadre du programme Scénario initié par la Fondation pour la recherche sur la biodiversité (FRB), un appel à projets a été lancé afin de faciliter le développement de projets transdisciplinaires, construits avec et pour les acteurs locaux. Ces projets visent à produire des résultats concrets en formulant des scénarios pour des transitions locales et socioécologiques. Dans cet appel à projets, les modèles, les récits et les cartes cognitives ont été identifiés comme des outils intéressants pour l'élaboration de scénarios.

Les cartes cognitives sont « *un modèle qualitatif du fonctionnement d'un système donné. La carte est basée sur des variables définies et les relations causales entre ces variables. Ces variables peuvent être des quantités physiques mesurables. [...] Les cartes cognitives sont des outils particulièrement adaptés et utiles pour modéliser des relations complexes entre les variables* » (p. 2, Özesmi et Özesmi, 2004). Parmi celles-ci, les **cartes cognitives floues** (*Fuzzy Cognitive Maps* – FCM : nous utiliserons cet acronyme tiré de l'anglais dans la suite de ce travail) se distinguent comme un outil particulièrement pertinent, favorisant les approches inter- et transdisciplinaires. Les FCM constituent une méthode permettant de modéliser des systèmes complexes en mobilisant les connaissances existantes et l'expérience humaine. « *D'un point de vue de l'intelligence artificielle, les FCM sont des systèmes neuronaux flous supervisés dans lesquels, à mesure que de plus en plus de données sont disponibles pour modéliser le problème, le système s'adapte et devient plus performant dans la recherche d'une solution* » (p. 1, Papageorgiou et Salmeron, 2013). Il s'agit d'une extension des cartes cognitives (Papageorgiou et Salmeron, 2014). Elles sont utilisées pour analyser, simuler et tester l'influence des paramètres ainsi que pour prédire le comportement d'un système. Les FCM sont construites avec 1) des nœuds représentant les différents concepts intervenant dans les socio-écosystèmes et 2) des flèches représentant les liens entre ces concepts, auxquels sont attribuées des valeurs souvent comprises entre -1 et +1.

Nous nous sommes interrogés sur l'ampleur de l'utilisation des cartes cognitives floues par les scientifiques travaillant sur la conservation de la biodiversité. L'objectif était d'acquérir des connaissances et des compétences dans l'usage de cette méthode dans ce contexte spécifique, à savoir **le développement de scénarios liés à la biodiversité, dans une perspective d'aide à la décision à l'échelle locale**.

Dans le cadre du Programme Scénario 2 « **Vivre “bien” en 2050 dans son territoire : Quels socio-écosystèmes et quelles places pour la biodiversité ?** » nous avons approfondie la question suivante :

Quelles sont les bonnes pratiques en termes de méthodologie, d'approche et d'éléments à considérer lors du développement de cartes cognitives floues avec les acteurs locaux, afin d'en déduire des scénarios et de les utiliser comme outil d'aide à la décision en conservation ?

Nous avons répondu à cette question en réalisant une revue rapide de la littérature afin d'identifier les contextes dans lesquels cette méthode a été utilisée et de déterminer si les auteurs des études avaient proposé des bonnes pratiques ou des recommandations pour l'élaboration des FCM en concertation avec les acteurs locaux, dans le but de générer des scénarios. Ce travail vise également à mettre en évidence les lacunes en matière de connaissances sur l'utilisation des FCM pour le développement de scénarios. Il a pour objectif de constituer une ressource pour les chercheurs souhaitant intégrer ces outils dans leurs recherches et travaux de terrain.

1. RESULTATS CLES

Dans notre corpus de littérature affiné, nous avons identifié plusieurs bonnes pratiques mises en avant par les auteurs, qui nous semblent pertinentes pour les processus participatifs dans les contextes de conservation et de préservation de la biodiversité, en particulier en ce qui concerne l'engagement des parties prenantes. Ces bonnes pratiques sont largement étudiées dans la littérature portant sur la recherche participative appliquée à la conservation. Elles englobent, par exemple, l'importance de la représentation et de l'inclusion d'une diversité d'acteurs, ainsi que la nécessité de prendre en compte les dynamiques de pouvoir.

Dans les sections suivantes, nous nous concentrerons sur les intérêts et les bonnes pratiques spécifiquement liés aux **FCM**, lorsqu'elles sont construites pour être utilisées dans l'élaboration de scénarios en conservation.

1.1. Intérêt reconnu de l'utilisation des cartes cognitives

Dans les différents contextes évoqués en annexe, nous avons identifié ce que les auteurs des études ont mis en avant en termes de justification, de pertinence et de valeur ajoutée de l'utilisation des **FCM** pour atteindre leurs objectifs de construction de scénarios servant à la prise de décision. Cela permet d'évaluer les atouts que les chercheurs attribuent à cet outil et dans quelle mesure il est considéré comme une contribution précieuse à l'élaboration de scénarios en lien avec la biodiversité.

L'intérêt principal de l'exercice de cartographie cognitive repose généralement sur **deux forces majeures** :

1. Sa capacité à générer un modèle de système même en l'absence de données suffisantes.
2. Sa faculté à prendre en compte les points de vue de multiples parties prenantes.

Comme le soulignent Roberts *et al.*, les **FCM** permettent de lier les récits aux modèles et de « *capturer les perceptions du système plutôt que des données empiriques* » (p. 3, Roberts *et al.* 2021). Un premier avantage de la méthode FCM est qu'elle est “généralement bien accueillie par les participants” (p. 3, Roberts *et al.* 2021).

Concernant la **disponibilité des données**, Roberts *et al.* considèrent que les **FCM sont particulièrement utiles dans les systèmes environnementaux et agricoles**, car elles permettent « *d'accroître la*

connaissance et de réduire l'incertitude dans ces systèmes souvent pauvres en données » (p. 4, Roberts et al. 2021). De son côté, Reckien (2014) décrit cette méthode comme « facile à appliquer et particulièrement utile dans des environnements complexes où les données sont rares ou mal définies » (p. 2, Reckien 2014). Dans son étude de cas analysant les conséquences socio-économiques des tempêtes et vagues de chaleur liées au changement climatique dans la province d'Hyderabad (Inde), du point de vue des vendeurs de rue, des agriculteurs et des urbanistes, la cartographie cognitive floue s'est avérée être « une alternative précieuse aux modèles statistiques empiriques établis, construits à partir de données historiques 'objectives' sur les dommages et les variations météorologiques mesurées, ou encore aux modèles quantitatifs mécanistes, qui présentent tous des lacunes importantes, telles qu'une dépendance à des bases de données insuffisantes et une mauvaise représentation des catégories de dommages perçues comme pertinentes par les acteurs concernés » (p. 11, Reckien 2014).

Concernant la **prise en compte des visions multiples**, plusieurs auteurs reconnaissent que les **FCM permettent d'intégrer différentes perceptions du système**, plutôt que des données empiriques strictes. Elles ne produisent pas nécessairement « *un modèle unique et vrai* », mais plutôt une « *représentation des attentes et visions des parties prenantes* » (p. 3, Roberts et al. 2021). Furman et al. soulignent encore que « *l'intégration des connaissances et des perceptions des communautés est essentielle pour comprendre de manière holistique les catastrophes et promouvoir la résilience et le bien-être des communautés côtières* » (p. 8, Furman et al. 2021). Ils s'appuient sur une étude de cas menée aux États-Unis pour souligner les **incertitudes** pouvant émerger en matière de durabilité et de résilience face aux risques, affirmant que « *les FCM permettent des processus de rétroaction, traitent des variables potentiellement indéfinies, abordent des fonctions du système qui peuvent traditionnellement être incertaines, intègrent les savoirs locaux et permettent la combinaison de multiples systèmes de connaissances. Cette étude met en particulier en lumière la valeur des FCM dans l'examen des dynamiques de groupes distincts et des perceptions, ainsi que l'utilité d'une telle cartographie pour la planification de la résilience* » (p. 9, Furman et al. 2021).

En rassemblant ces différents **systèmes de connaissances**, en particulier à l'échelle locale, Roberts et al. mettent en avant que les **FCM sont capables d'utiliser le langage naturel pour formaliser les résultats et explorer un système**. Cela offre ainsi « *l'opportunité non seulement aux parties prenantes de contribuer avec leurs connaissances, mais aussi de visualiser et d'ajuster les modèles obtenus, et d'utiliser ces modèles pour explorer les incertitudes au sein du système* » (p. 4, Roberts et al. 2021). De plus, comme « *une carte visuelle est créée, les parties prenantes peuvent présenter des éléments du système qui ne seraient pas apparents lors d'un entretien direct, car ils sont perçus comme allant de*

soi » (p. 4, Roberts *et al.* 2021). Des détails supplémentaires et des recommandations pour **maximiser cette utilisation du langage et des représentations visuelles** seront fournis dans les sections suivantes. Enfin, il est important de noter que dans tous les cas, les **FCM sont considérées comme complémentaires aux autres méthodes** de génération de connaissances sur un système (études documentaires, études de terrain, etc.), comme un complément utile aux autres approches empiriques. Elles « *offrent une alternative, plutôt qu'un approfondissement, à la compréhension actuelle [et] peuvent mieux contribuer à identifier des pistes pour de futures études empiriques ou des domaines où le dialogue entre parties prenantes doit être renforcé* » (p. 16, Roberts *et al.* 2021). Reckien affirme ainsi que « *la cartographie cognitive floue, en s'appuyant sur l'expérience, la perception et la connaissance, possède un véritable potentiel en tant qu'outil d'aide à la décision* » (p. 11, Reckien 2014). Elle souligne également que les **FCM se sont révélées être un outil pertinent pour l'évaluation semi-quantitative des impacts et des mesures d'adaptation**, en fournissant un **classement des impacts et des mesures d'adaptation** (p. 11, Reckien 2014).

Enfin, dans une appropriation originale de l'outil, Blewett *et al.* utilisent les FCM pour **mettre en avant les liens existants entre la cognition et l'émotion**, un aspect qui est exploré plus en détail dans l'Encadré 1 ci-dessous.

ENCADRE 1

Lien entre cognition et émotion : le cas de la conservation des castors sur la rivière Otter en Angleterre

Dans l'étude de **Blewett *et al.* (2022)**, la cartographie cognitive est utilisée de manière spécifique pour explorer les **émotions des parties prenantes** face à un enjeu de conservation précis : la présence des **castors dans la rivière Otter**. L'objectif des auteurs est de **relier l'usage traditionnel de la cartographie cognitive** – qui consiste à comprendre la centralité des concepts et les relations entre eux – avec **la valence émotionnelle** associée à chaque concept. Leur hypothèse est que « *l'analyse des modèles mentaux des parties prenantes montrera des corrélations prédictives entre les mesures de la valence émotionnelle et le modèle mental individuel, en particulier (a) la centralité du concept et (b) sa densité* » (p. 3, Blewett *et al.* 2022).

Les auteurs ont mené un **processus de cartographie cognitive** avec les participants, tout en leur demandant **d'évaluer leurs réponses émotionnelles** en utilisant l'icône faciale *Affect Button*. Cet outil a été choisi pour « *sa représentation des échelles d'affect de base, sa fiabilité et validité, y compris une forte corrélation avec les échelles verbales des émotions, ainsi que sa facilité d'utilisation* » (p. 4,

Blewett *et al.* 2022). Les participants ont ainsi pu exprimer **comment ils se sentaient face à chaque concept**, tour à tour (p. 4, Blewett *et al.* 2022).

L'étude a mis en évidence une **relation prédictive faible mais significative** entre la valence émotionnelle et la centralité du concept dans la carte cognitive (p. 6, Blewett *et al.* 2022). Cette corrélation permet de mieux comprendre **comment un concept jugé central – c'est-à-dire particulièrement important dans un contexte socio-économique – influence les émotions des acteurs concernés**.

Les auteurs concluent que « *les liens entre les réponses émotionnelles et les modèles mentaux ont probablement des racines dans l'adaptabilité écologique et sociale, et se manifestent dans les résultats des processus décisionnels. Il est donc pertinent de prendre en compte le rôle des émotions humaines dans la pratique de la conservation* » (p. 9, Blewett *et al.* 2022).

1.2. Apprentissage et recommandations pour l'utilisation des cartes cognitives

1.2.1. Matériels et méthodes

Nous avons identifié plusieurs **bonnes pratiques** liées à la méthode des **cartes cognitives floues (FCM)**. Celles-ci concernent la manière dont le processus d'élaboration de FCM est mis en œuvre (**ateliers, discussions de groupe – voir Tableau 2**) ainsi que les **étapes clés de construction des FCM** (voir Tableau 2). Chacune de ces dimensions est explorée ci-dessous.

Modalités d'engagement des participants et participantes

Les FCM peuvent être élaborées de manière **collective**, lors d'un **atelier** ou d'une **discussion de groupe**, ou de manière **individuelle**, au cours d'**entretiens**. Dans les deux cas, il semble **bénéfique d'augmenter le nombre de participants** afin d'« *améliorer les résultats et produire un plus grand nombre de concepts* » (p. 133, Malek et Boerboom 2015a). Des informations supplémentaires sur **l'implication des parties prenantes** sont détaillées dans la section dédiée ci-dessous.

Par ailleurs, afin **d'éviter les biais inconscients pouvant influencer les résultats**, il est recommandé de respecter un **délai entre les entretiens et les événements récents analysés**, afin que les participants puissent prendre du recul sur les situations étudiées (Reckien 2014).

a. Types de cartographie

TABLEAU 1.
Différents types d'implication des parties prenantes

Type de cartographie	Méthode	Exemple / Citation	Référence
Cartographie collective – atelier	Répartition en groupes de travail thématiques	« <i>Les participants ont été répartis en groupes pour réfléchir soit à la biodiversité, soit à la qualité de l'eau.</i> »	Roberts <i>et al.</i> (2021), p. 7
Cartographie individuelle entretiens	Entretiens réalisés au domicile ou sur le lieu de travail des participants	« <i>Tous les entretiens réalisés par le premier auteur ont eu lieu entre octobre 2018 et mai 2019, avec une durée moyenne de 149 minutes (plage de 70 à 270 minutes), menés au domicile ou sur le lieu de travail des participants.</i> Les entretiens réalisés in situ, en présence d'éléments environnementaux pertinents, sont considérés comme préférables (Jones et al. 2014), mais jugés impraticables en raison de la tenue des réunions majoritairement en soirée et des conditions	Blewett <i>et al.</i> (2022), p. 4

		<i>météorologiques hivernales. »</i>	
Cartographie collective – discussion de groupe	Réunion avec des parties prenantes locales et régionales	<i>« Nous avons organisé des discussions de groupe avec 10 parties prenantes expertes de la zone d'étude, comprenant des acteurs aux niveaux local et régional impliqués dans la prise de décision et la recherche sur l'occupation des sols et la gestion des risques, en octobre et novembre 2012. »</i>	Malek et Boerboom (2015), p. 127

b. Étapes de la FCM

En termes de déroulement du processus, nous avons identifié dans la littérature **trois étapes** pour construire une **FCM** : une **introduction**, une étape pour **déterminer les concepts de la carte**, et une étape pour **déterminer les liens entre ces concepts**. Ces trois étapes sont illustrées ci-dessous à travers trois articles (Roberts *et al.* 2021 ; Blewett *et al.* 2022 ; Malek et Boerboom 2015a).

TABLEAU 2.
Synthèse des étapes de construction des cartes cognitives floues (FCM)

Étapes de la FCM	Roberts <i>et al.</i> (2021)	Blewett <i>et al.</i> (2022)	Malek et Boerboom (2015a)
Introduction : La construction des FCMs commence	« Les ateliers ont débuté par une introduction des	« Les entretiens ont commencé par une explication semi-	

<p>généralement par une présentation du contexte de l'étude par le facilitateur.</p>	<p><i>participants à l'étude de cas et aux biens publics. »(p. 6)</i></p>	<p><i>structurée de la procédure, de l'affiliation académique, des normes éthiques, de la collecte des données d'identification individuelle et, enfin, par le partage de photographies d'un castor, de la rivière et d'une carte de la zone d'expérimentation. »(p. 5)</i></p>	
<p>Détermination des concepts (et leur définition) : Les participants sont généralement assistés par le facilitateur dans l'identification des concepts, à l'aide de catégories ou de cartes pré-remplies.</p>	<p>« Afin de réduire la charge cognitive des participants, des cartes contenant déjà des concepts clés identifiés lors d'ateliers précédents avec les parties prenantes (Byg et al., 2017 ; Creaney et al., 2017) leur ont été présentées. Ils pouvaient ajouter ou supprimer des concepts afin de créer un modèle correspondant à leur compréhension du système. »(p. 7)</p> <p>« Les participants ont discuté des concepts présentés et les ont</p>	<p>“Les participants ont reçu un concept obligatoire, retenu par la suite comme catégorie de concept, « présence de castors », et ont été invités à écrire leurs propres termes considérés comme des concepts de modèle mental sur des Post-it affichés de la manière qu'ils préféraient sur un tableau de 120 x 90 cm, selon trois catégories de cadrage a priori déterminées par le premier auteur comme étant des paramètres</p>	<p>« Les participants ont d'abord été invités à discuter des aspects démographiques, institutionnels, économiques, culturels et environnementaux des changements passés, présents et futurs de l'utilisation des sols. Ils ont identifié les causes et les conséquences les plus pertinentes des changements d'affectation des sols dans la région et leur importance relative perçue ; une attention particulière a été</p>

	<p><i>modifiés selon leurs perceptions. Les discussions incluaient la définition de chaque concept, qui serait ensuite utilisée pour établir des correspondances entre les cartes. Cela garantissait que nous pouvions comparer les concepts en fonction des définitions utilisées par les parties prenantes, même si leurs appellations différaient. Certains concepts ont été fusionnés (ex. : éléments de la biodiversité) pour permettre une comparaison et éviter les doubles comptages.</i></p> <p>» (p. 7)</p>	<p><i>raisonnables de l'écosystème : « les castors et a) la faune et la végétation, b) la rivière et l'environnement physique, c) les gens et les activités humaines ».</i></p> <p><i>Il a été demandé aux participants d'envisager les effets sur les cinq prochaines années, créant ainsi un cadre temporel raisonnable pour permettre aux participants d'exprimer leur compréhension et leurs attentes concernant des événements émergents ou fluctuants et périodiques tels que des pics et des creux accentués dans les précipitations. Afin de minimiser l'influence potentielle de l'enquêteur, il a été demandé aux personnes interrogées d'établir une liste de termes positifs, par exemple « tolérance »</i></p>	<p>accordée à l'identification d'éventuels facteurs externes et d'autres facteurs intangibles. »</p> <p>(p. 127)</p>
--	---	---	--

		<i>et non « intolérance ».</i> " (p. 5)	
Détermination des liens : Les participants, assistés par le facilitateur, doivent identifier les liens entre les concepts et leur pondération.	« Les participants ont ajouté des liens entre les concepts pour illustrer leur compréhension du fonctionnement du système. Les liens étaient restreints entre -1 (fortement négatif) et +1 (fortement positif), mais n'étaient pas autrement limités. » (p. 7)	« Les participants ont ensuite écrit et affiché leurs propres termes sous forme de réseau, après quoi ils ont été invités à examiner chaque terme à tour de rôle, dans l'ordre de leur choix, en ajoutant des flèches causales signées (+ ou -) et pondérées de manière floue (Très Fort - TF, Fort - F, Modéré - M, Faible - F) pour représenter les influences perçues entre les concepts, jusqu'à satisfaction du résultat final. » (p. 5)	« Avec les participants, nous avons ensuite relié les causes et les conséquences les unes aux autres, toujours sur la base des connaissances spécialisées des participants. Les relations finales ont ensuite été visualisées sous la forme d'une carte cognitive à l'aide de Gephi, un logiciel de visualisation et d'analyse de réseaux (Bastian et al. 2009). » (p. 127)

FIGURE 1.
Exemple de carte cognitive réalisée avec le logiciel Gephi
(IN Malek et Boerboom 2015b)



D'autres étapes peuvent être nécessaires. Par exemple, dans le cas des **entretiens individuels**, une étape supplémentaire est requise pour **résumer et agréger les cartes individuelles**.

Dans le cas de la **cartographie collective**, **Roberts et al. (2021)** ajoutent une **étape finale** où un modèle basé sur les **données FCM des parties prenantes** est exécuté, puis les résultats sont présentés aux participants pour **itération**. De cette manière, ils peuvent identifier d'éventuels ajustements : « *Offrir la possibilité de donner un retour sur les résultats est essentiel pour bien comprendre les connaissances des parties prenantes et leur donner davantage de contrôle sur les modèles finaux. Ces deux aspects amélioreront la qualité des résultats du modèle et leur applicabilité.* » (p. 7, Roberts et al. 2021).

Rôle du facilitateur

La **posture du facilitateur** est un **élément clé**, à la fois pour **minimiser les effets potentiels sur les résultats** et pour **guider efficacement les participants** dans la construction des **FCM**. Les facilitateurs

doivent être attentifs à **fournir des instructions claires** et à **expliquer les termes utilisés** (Blewett et al. 2022), en adoptant un **langage adapté aux participants** (Malek et Boerboom 2015a).

Ils peuvent également **accompagner les participants** en utilisant une **méthode conversationnelle** afin de réduire le stress des participants. Par exemple, « *le premier auteur a noté les termes des participants et les leur a restitués pour vérification* » (p. 5, Blewett et al. 2022).

Dans tous les cas, **il est nécessaire de discuter des définitions des concepts avec les participants**. Ainsi, le facilitateur peut **incorporer, modifier ou supprimer des liens et concepts** une fois qu'un consensus a été atteint parmi les participants (Roberts et al. 2021).

Outils et logiciels pour faciliter la création des cartes

Pour **faciliter la construction des cartes**, plusieurs **logiciels** sont disponibles, comme l'**interface Mental Modeler**, qui offre une **visualisation directe des résultats de la carte et de ses effets** (Roberts et al. 2021).

Plus largement, ces logiciels permettent aux auteurs de concevoir **des matrices et des cadres d'analyse via les FCM**. Par exemple, **Paria et al. (2021)** l'ont utilisé en s'appuyant sur « *des informations extraites de la littérature, des visites de terrain, des interactions informelles et des discussions aléatoires avec différentes parties prenantes, des rapports gouvernementaux et des documents de politique publique* » (p. 15, Paria et al. 2021).

1.2.2. Engagement des parties prenantes

Sélection des parties prenantes pour les FCMs

L'engagement des parties prenantes est un élément central dans les processus de **cartographie cognitive floue (FCM)**, ce qui en fait un outil particulièrement pertinent pour les inclure dans la réflexion.

L'implication des parties prenantes permet de (Roberts et al. 2021) :

- **Rendre visibles les hypothèses sous-jacentes aux groupes d'acteurs** ;
- **D'ouvrir des opportunités pour leur remise en question** ;
- **D'identifier les zones de divergence ou d'absence de consensus** ;
- **De mettre en évidence les options d'intervention possibles**.

La littérature met en avant la nécessité d'impliquer une **diversité de parties prenantes** (Furman *et al.* 2021 ; Roberts *et al.* 2021) afin **d'améliorer la compréhension des perceptions collectives** et d'évaluer l'impact des changements de gouvernance locale en tenant compte de multiples points de vue (Roberts *et al.* 2021).

Un enjeu majeur dans la sélection des parties prenantes est **leur niveau de connaissance**. Si l'implication des acteurs dans des études utilisant les **FCM** peut leur permettre **d'accroître leur compréhension des concepts**, il est essentiel de **bien cibler les participants**, y compris en intégrant des **experts académiques** (Roberts *et al.* 2021). Pour Roberts *et al.* (2021), l'échantillon doit ainsi être une « **sélection de parties prenantes représentatives et informées** » (Roberts *et al.*, p. 16). Par exemple, dans leur étude de cas : « *Les parties prenantes académiques ont été sélectionnées pour leur connaissance des systèmes agricoles et des mécanismes de gouvernance à grande échelle et comprenaient des scientifiques en sciences naturelles et sociales. Les praticiens ont apporté une connaissance approfondie du contexte agricole le long de l'Ugie.* » (p. 6, Roberts *et al.* 2021).

Pour Malek et Boerboom (2015a), **l'implication d'experts** peut combler certaines lacunes en apportant **des données manquantes ou des facteurs intangibles**, enrichissant ainsi la connaissance du système. Cependant, **le principal défi reste d'identifier les acteurs clés et les initiatives pertinentes** (Puerari 2013).

Intégration des différents points de vue

L'un des principaux défis dans l'implication d'un large éventail de parties prenantes est **la prise en compte de la diversité de leurs points de vue**. La littérature propose diverses manières d'adresser cet enjeu, avec des avantages propres à chacune.

1. Organisation d'ateliers différenciés selon les types d'acteurs :

- **Ateliers mixtes** : Favorisent le dialogue et permettent aux participants de construire une compréhension partagée du système.
- **Ateliers distincts** : Permettent d'identifier les différences de perception entre les groupes d'acteurs (académiques, praticiens, etc.) (Roberts *et al.* 2021).

2. Production de cartes cognitives distinctes ou fusionnées :

- **Differentes cartes** peuvent être produites en impliquant des individus ou des groupes.
- Certaines cartes peuvent être **fusionnées** pour obtenir une **représentation de consensus** (Roberts *et al.* 2021).

3. Méthodes d'analyse des différentes FCM :

- Les modèles individuels peuvent être **agrégés** « *afin de générer des informations plus précises et fiables et de produire des inférences non décelables dans les modèles individuels* » (p. 3, Furman *et al.* 2021).
- Les FCM peuvent être comparées en fonction de leur **composition qualitative, de leur structure de réseau et de leur dynamique comportementale** (p. 2, Furman *et al.* 2021).

Les **visions opposées** sont particulièrement utiles **pour comprendre les raisons sous-jacentes aux désaccords** et ainsi **identifier quelles décisions locales peuvent conduire à des changements efficaces** (Roberts *et al.* 2021).

Étapes de l'engagement des parties prenantes

Les parties prenantes peuvent être impliquées à **chaque étape du processus**. Dès le début du projet, cela permet d'identifier la zone d'étude et de se concentrer sur les points les plus pertinents (Malek et Boerboom 2015a). Lors de l'analyse des résultats, il est bénéfique de permettre aux participants d'apporter un retour sur les résultats, ce qui « *augmente leur appropriation du processus, améliore la précision des données et renforce l'applicabilité pour la prise de décision* » (p. 13, Roberts *et al.* 2021).

En guise d'exemple concret d'implication continue des parties prenantes, l'étude de Malek et

Boerboom (2015a) a « *impliqué les parties prenantes dès le début pour soutenir les étapes de génération des données, de compréhension du système de changement d'usage des terres et de développement d'un modèle de changement d'usage des terres pour la construction de scénarios.* » (p. 123).

1.2.3. Utilisation des FCMs pour la construction de scénarios

L'un des objectifs de notre étude était de comprendre comment les cartes cognitives floues contribuent à la création de scénarios.

En théorie, les **réseaux cognitifs flous** peuvent être utilisés pour l'évaluation de scénarios en analysant les effets des changements dans le réseau au fil du temps, en mesurant les influences cumulées des impacts à travers plusieurs itérations (Özesmi et Özesmi, 2004 ; Stylios *et al.*, 2008).

Dans la pratique, Roberts *et al.* ont développé **trois scénarios basés sur les concepts ayant le plus d'impact positif** (p. 8, Roberts *et al.* 2021). Leur FCM a permis d'intégrer les connaissances et perceptions des parties prenantes dans l'élaboration des scénarios.

Lorsque plusieurs cartes sont obtenues dans un processus de recherche, l'**utilisation de la médiane plutôt que de la moyenne arithmétique** est recommandée pour éviter les biais liés aux écarts de connaissances entre les groupes de parties prenantes (p. 3, Furman *et al.* 2021).

En conclusion, l'**agrégation des FCM pour construire des scénarios** est un outil puissant, permettant d'évaluer leur pertinence au fil du temps et de produire des modèles communautaires exploitables pour la prise de décision (Paria *et al.* 2021; Furman *et al.* 2021).

1.3. Défis liés à l'utilisation de la cartographie cognitive floue

Un défi majeur dans l'utilisation des cartes cognitives floues (FCM) réside dans la **représentativité des résultats**. Tout d'abord, les données produites dépendent des participants impliqués dans leur construction. Un nombre réduit de participants ainsi qu'un manque de diversité parmi eux peuvent limiter la représentativité de l'échantillon. Capturer les différentes opinions et visions du système étudié à travers les FCM est un processus long, nécessitant plusieurs entretiens et ateliers, d'autant plus lorsque la disponibilité des parties prenantes est limitée (Furman *et al.* 2021 ; Malek et Boerboom

2015a). Le nombre et la représentativité des participants peuvent entraîner des erreurs dans le codage des données ou l'omission de détails contextuels importants (Roberts *et al.* 2021). Toutefois, cette lacune peut être en partie compensée par l'implication d'experts et de décideurs dans la construction des FCM, en s'appuyant sur leur connaissance approfondie du système (Malek et Boerboom 2015a).

Cependant, même les participants les plus qualifiés sont susceptibles d'introduire des **biais dans la représentation du système et de ses données**. Par exemple, la sensibilité temporelle constitue un biais fréquent et doit être prise en compte lors de l'analyse des résultats : « *Il est impossible d'évaluer les impacts encore inconnus* » (p. 11, Reckien 2014). Le rôle du facilitateur lors des ateliers et des entretiens est alors d'atténuer autant que possible ces biais et erreurs, en fournissant des **définitions précises des termes aux participants et des consignes claires** : « *[...] faiblesse de notre approche due à l'absence de définition pour l'agriculture verte* » (p. 14, Roberts *et al.* 2021). En outre, les instructions doivent être bien définies afin de permettre aux parties prenantes d'exprimer fidèlement leurs idées. Dans l'étude de cas de Roberts *et al.* (2021), « *la restriction à un seul lien, sans contexte, a été identifiée comme une limitation par tous les groupes* » (p. 15, Roberts *et al.* 2021).

Enfin, la **détermination des composantes et des relations** entre elles étant souvent un processus long et complexe, cela laisse **peu de temps pour tester le modèle avec les participants** (Furman *et al.* 2021).

Défis liés à l'analyse des résultats des FCM

L'analyse des résultats des FCM soulève d'autres **problématiques méthodologiques**. L'agrégation de différentes cartes cognitives pour aboutir à un seul résultat basé sur des moyennes peut s'avérer problématique : elle peut « *créer un modèle qui ne représente bien aucune vision et qui neutralise les différences entre parties prenantes, [alors que] les cartes combinées risquent aussi d'atténuer les liens, créant ainsi un modèle qui ne représente fidèlement aucun acteur* » (p. 14, Roberts *et al.* 2021).

Même en l'absence d'une fusion de cartes, la **construction d'une FCM repose sur des hypothèses** et les « *relations causales entre concepts peuvent limiter la robustesse du modèle* » (p. 3, Paria *et al.* 2021). De plus, les scénarios issus des FCM peuvent être **fortement normatifs**, et ils « *ne peuvent pas être utilisés pour estimer l'ampleur absolue du changement, mais plutôt pour prévoir les dynamiques probables* » (p. 16, p. 14, Roberts *et al.* 2021).

Défis liés à la dimension spatiale et temporelle

Un autre défi majeur est que les FCM **ne possèdent pas de composante spatiale et temporelle** (p. 9, Furman *et al.* 2021). Par conséquent, les résultats des modèles ne sont pas associés à des valeurs quantitatives précises. Cela peut poser un problème lorsque certains concepts dépendent d'échelles de temps différentes. Cette question est particulièrement délicate lorsque l'on cherche à **intégrer les effets du changement climatique dans un modèle** (Roberts *et al.* 2021).

Le même problème se pose avec la **non-linéarité des relations**. Roberts *et al.* (2021) soulignent que cela a été « *un problème identifié par le groupe de praticiens en qualité de l'eau, qui ont noté que des politiques plus restrictives n'auraient une relation positive avec l'agriculture verte que jusqu'à un certain seuil de coûts pour les agriculteurs* » (p. 15, Roberts *et al.* 2021). Au-delà de ce seuil, ces politiques risquent de devenir contre-productives.

Limites des FCM dans l'étude des changements politiques

Il apparaît que, dans un **contexte plus large**, la cartographie cognitive floue peut ne pas être la méthode la plus adaptée pour étudier **les conséquences des changements politiques** (Roberts *et al.* 2021). En effet, la production de scénarios basés sur les FCM fournit des données **relatives**, qui ne peuvent être **comparées directement à des données quantitatives externes ou à des indicateurs précis** (Reckien 2014).

ENCADRE 2.

Défis identifiés lors de l'atelier organisé dans le cadre de l'événement scientifique national du 4 février 2025 à Paris par la Fondation pour la recherche sur la biodiversité

L'atelier a offert l'opportunité d'explorer cinq cas concrets illustrant la diversité des défis liés aux modèles mentaux dans la conservation de la biodiversité. Chaque groupe a travaillé sur un processus d'extraction des connaissances, en identifiant les parties prenantes clés et en construisant des représentations collaboratives.

Parmi les enseignements majeurs, le cas des castors au Royaume-Uni a mis en évidence la nécessité **d'un engagement large des parties prenantes** afin de gérer les désaccords de manière constructive. En Espagne, les discussions sur la **gestion de l'eau** ont révélé **la difficulté de synthétiser des intérêts divergents**, tout en mettant en lumière des tensions sous-jacentes. L'urbanisation alpine en Italie a conduit à la création de **cartes distinctes pour chaque groupe de parties prenantes**, facilitant ainsi l'identification de compromis réglementaires.

D'autres cas ont souligné **l'importance de prendre en compte les dynamiques de pouvoir et la multiplicité des intérêts en jeu**. À Bangalore, les discussions sur les zones urbaines proches des lacs ont utilisé **des verbes d'action pour associer les enjeux aux acteurs concernés**, révélant ainsi les rapports de force en présence. Enfin, la **surpêche et la gestion des aires marines protégées en Uruguay** ont démontré la complémentarité des **entretiens qualitatifs et des représentations graphiques** pour intégrer des intérêts variés.

Ces études de cas ont permis d'identifier plusieurs **bonnes pratiques**, déjà citées dans ce guide, notamment **l'importance d'une introduction claire, la diversité des participants** et l'intérêt d'une **cartographie individuelle avant les discussions collectives**.

2. DISCUSSION ET PERSPECTIVES FUTURES

Notre analyse de la littérature sur l'utilisation des cartes cognitives floues (FCM) dans la conservation de la biodiversité pour produire des scénarios avec les parties prenantes a permis de compiler :

- 1. L'intérêt de l'utilisation des cartes cognitives floues ;**
- 2. Les recommandations et bonnes pratiques ;**
- 3. Les défis que les chercheurs peuvent rencontrer.**

Ces synthèses sont présentées dans les tableaux ci-dessous (voir tableaux 4, 5 et 6).

TABLEAU 4.
Synthèse des principaux intérêts des cartes cognitives floues (FCMs)

Intérêt principal	Justification
Générer un système même en l'absence de données suffisantes	La FCM est un outil capable d'accroître la connaissance et de réduire l'incertitude, facile à appliquer même dans des systèmes où les données sont rares.
Prendre en compte les points de vue de multiples parties prenantes	Le résultat ne représente pas « <i>un modèle unique et vrai</i> », mais les attentes des parties prenantes.

	Il permet des processus de rétroaction (ajustement des modèles et exploration des incertitudes), intègre divers systèmes de connaissances, y compris les savoirs locaux, et est particulièrement utile pour étudier des groupes distincts.
Méthode complémentaire à d'autres études plus empiriques et à d'autres approches de génération de connaissances sur un système	Les FCM favorisent le dialogue entre les parties prenantes et peuvent constituer un outil puissant d'aide à la décision ou d'évaluation semi-quantitative des impacts et des mesures d'adaptation.

TABLEAU 5.
Synthèse des principales bonnes pratiques lors de l'utilisation des cartes cognitives floues (FCM)

Catégorie	Principales bonnes pratiques	Intérêt
Matériel et méthodes	Augmenter le nombre de participants	Améliore la qualité des résultats et augmente le nombre de concepts identifiés.
	Utiliser une cartographie individuelle ou collective	À adapter en fonction des objectifs de la recherche.
	Suivre un processus en trois étapes : introduction, détermination des concepts, détermination des liens	L'introduction donne le contexte. Ensuite, l'identification et la définition des concepts sont généralement soutenues par le facilitateur, parfois à l'aide de catégories prédéfinies ou de cartes pré-remplies.
	Posture du facilitateur : fournir des instructions claires et expliciter les termes	Minimise l'influence sur les résultats, réduit le stress des participants et clarifie les termes utilisés dans la carte.
	Utiliser des logiciels spécialisés	Certains logiciels, comme <i>Mental Modeler</i> , permettent d'afficher les résultats en temps réel et

		facilitent la discussion autour des résultats obtenus.
Engagement des parties prenantes	Sélectionner une diversité d'acteurs	Améliore la compréhension des perceptions collectives en représentant plusieurs points de vue.
	Impliquer des experts	Fournit des connaissances approfondies sur le système étudié.
	Identifier les acteurs clés et les initiatives pertinentes	Essentiel pour garantir une bonne implication des parties prenantes.
	Inclure des parties prenantes avec un faible niveau de connaissance	Permet de mieux comprendre les concepts et d'accroître les connaissances des participants.
	Organiser des ateliers mixtes ou distincts selon les groupes d'acteurs	Les ateliers séparés permettent d'identifier les différences de perception, tandis que les ateliers mixtes favorisent le dialogue et la compréhension commune.
	Impliquer les parties prenantes à chaque étape du processus	Dès le début, cela aide à définir le périmètre de l'étude et à se concentrer sur des points pertinents. Lors de l'analyse des résultats, cela permet aux participants de donner un retour.
	Utiliser les FCM pour l'évaluation des scénarios	Permet d'analyser et d'évaluer les scénarios construits à partir des cartes cognitives.
	Développer des scénarios à partir des données obtenues dans les FCM	L'utilisation de la médiane plutôt que de la moyenne arithmétique permet de réduire les biais. L'emploi des FCM garantit la

		pertinence des scénarios et permet la production de modèles communautaires.
--	--	---

TABLEAU 6.

Synthèse des principaux défis rencontrés lors de l'utilisation des cartes cognitives floues (FCMs)

Catégorie	Défi principal	Comment le surmonter
Représentativité des résultats	Sélectionner un échantillon représentatif avec diverses opinions	Veiller à inclure une diversité de parties prenantes pour refléter différents points de vue.
	Intégrer des experts et des décideurs dans la construction des FCM	Utiliser leur connaissance approfondie du système pour compenser certaines lacunes.
	Éviter les biais, notamment le biais lié à la temporalité	Fournir des instructions claires et des définitions précises. Prendre le temps de tester le modèle avec les participants pour corriger les biais éventuels.
Analyse des résultats des FCM	La compilation de différentes FCM peut conduire à des résultats faibles qui ne représentent fidèlement aucune vision	Être conscient que l'agrégation des cartes peut neutraliser les différences et limiter la précision des résultats.
	Les scénarios issus des FCM sont des données relatives qui ne peuvent être comparées à des données quantitatives externes	Prendre en compte cette limitation lors de l'interprétation des résultats et éviter de comparer directement avec des indicateurs externes.
	La robustesse des FCM peut être limitée en raison de leur construction sur des hypothèses	Compléter l'analyse avec d'autres méthodes empiriques et croiser les résultats avec d'autres approches qualitatives ou quantitatives.

	Les scénarios basés sur les FCM peuvent être fortement normatifs	Ne pas utiliser les FCM pour estimer l'ampleur absolue des changements, mais plutôt pour identifier des tendances et des dynamiques probables.
Absence de composantes spatiales et temporelles	Les FCM ne prennent pas en compte la dimension spatiale et temporelle, ce qui peut poser problème pour certains types de modélisation	Compléter les FCM avec des outils ou des approches permettant d'introduire des éléments spatiaux et temporels (cartographie SIG, modélisation dynamique, etc.).

Autres approches de cartographie participative

Bien que les résultats aient été extraits d'un corpus très précis en suivant des critères restreints (voir Annexe : *Processus de recherche : cartographie de la littérature*), d'autres types de cartographie participative et de modes de représentation des perceptions sont apparus dans la littérature étudiée. Nous les avons exclus de l'analyse visant à détailler les tenants méthodologiques propres aux FCM, toutefois ils constituent des exemples importants de représentations mentales.

Deux approches se distinguent des FCM par leur mode de représentation :

1. Les Réseaux bayésiens (*Bayesian Networks*) – Carmona et al. 2013

Les **Réseaux bayésiens** sont décrits comme des « *graphes orientés acycliques qui représentent un système à travers ses principales variables (nœuds), les valeurs possibles qu'elles peuvent adopter et les relations entre ces variables en termes de probabilités conditionnelles* » (Bromley, 2005 ; Cain, 2001 cité par Carmona et al. 2013, p. 403) (voir figure 3).

FIGURE 2.
Exemple de réseau bayésien (Carmona, Varela-Ortega, et Bromley 2013)

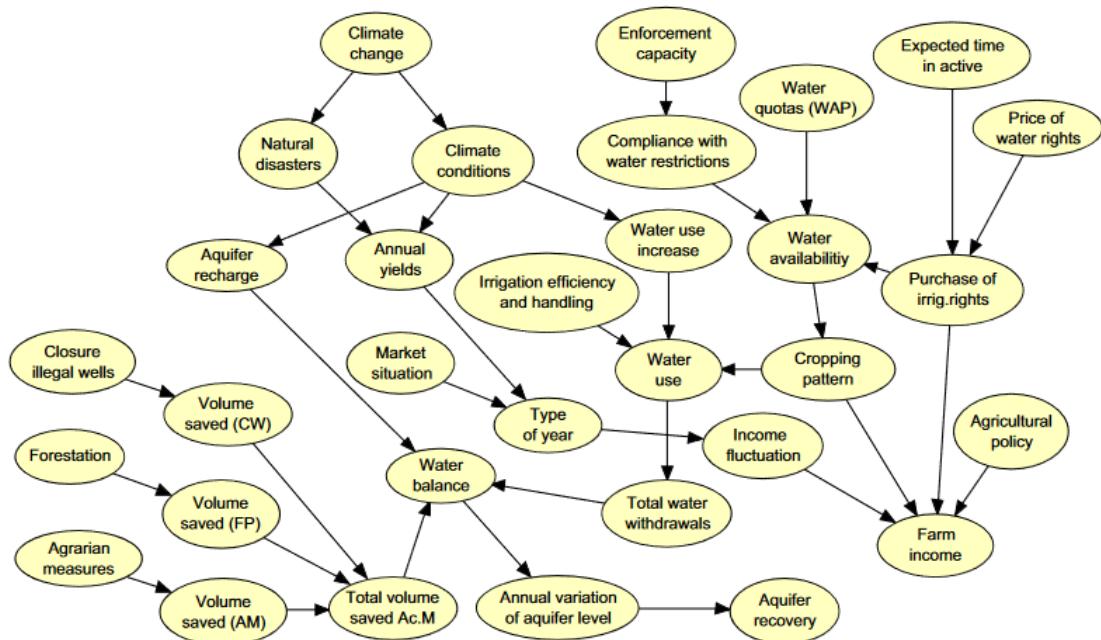


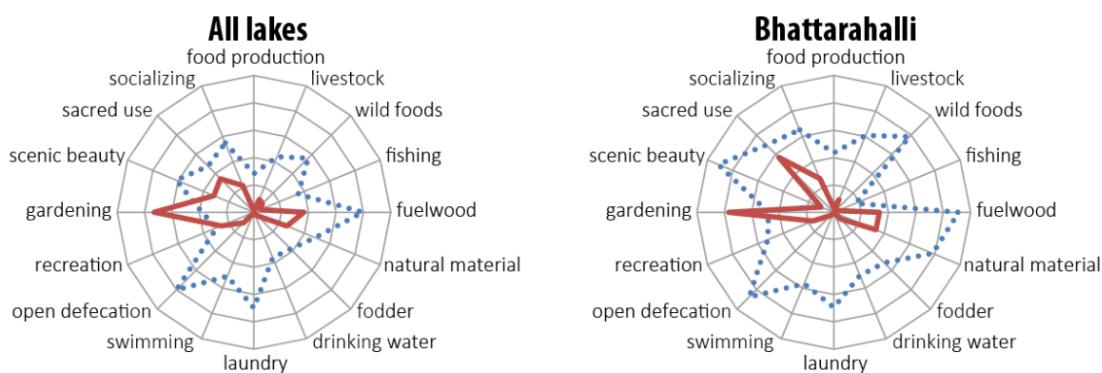
Fig. 4. Summary of the BN representing the upper Guadiana system.

2. Les graphiques en toile d'araignée (*spider charts*) ou radars – Peralta-Rivero et al. 2016 ; Derkzen et al. 2017

Un **graphique en toile d'araignée** ou **graphique radar** est une représentation graphique des données composée d'au moins trois variables quantitatives, chacune étant représentée sur un axe individuel partant d'un même point (voir Figure 4).

FIGURE 3.
Exemple de graphique en toile d'araignée issu de derkzen et al. 2017

Fig. 5. Changes in the use of ecosystem services for all lakes together (top left panel) and for each individual lake for both past conditions (around 1980, dashed line) and current conditions (2015, solid line). Axis indicates the share of households using the services from 0% (center) to 100% (outer ring).



Comparaison entre FCM, Réseaux Bayésiens et Graphiques en toile d'araignée

Les **FCMs**, les **Réseaux bayésiens** et les **graphiques en toile d'araignée (spider charts)** peuvent être utilisés de manière similaire et construits selon des processus comparables, impliquant les parties prenantes pour identifier des indicateurs et des niveaux quantitatifs tels que des pondérations.

Cependant, certaines différences existent :

- Les **spider charts** se distinguent par leur mode de présentation des données sous forme de graphiques radiaux.
- Les **Réseaux Bayésiens**, quant à eux, se concentrent sur des niveaux quantitatifs sous forme de **probabilités**.

Points communs méthodologiques avec d'autres modèles mentaux

Même si ces autres **modèles mentaux** n'ont pas été analysés dans la littérature sur les **FCM**, des **similitudes existent** en termes de méthodologie, d'intérêt des outils et de résultats obtenus.

1. Ces outils de représentation des perceptions des parties prenantes sont souvent construits selon des méthodes proches de celles des **FCM** :
 - Entretiens semi-directifs (Peralta-Rivero *et al.* 2016)
 - Ateliers participatifs (Bonnycastle et Simpkins 2020 ; Mellado *et al.* 2014)
 - Groupes de discussion (focus groups) (Aswani *et al.* 2015)
 - Entretiens en face-à-face (Smart *et al.* 2021)
2. Certaines bonnes pratiques, comme la **représentativité des participants**, l'**implication précoce** et la **transparence** dans la démarche (Carmona *et al.* 2013), sont évoquées pour ces différentes méthodes.
3. La **cartographie participative** apparaît comme une **méthode particulièrement efficace** pour inclure les **communautés marginalisées** dans les processus décisionnels, en complément d'autres approches (Tauzer *et al.* 2019 ; Brown et Weber 2011).
4. Quelle que soit la méthode utilisée, la posture du facilitateur est cruciale pour garantir un **processus fluide et productif**. Cela peut être favorisé par :
 - Des réunions préparatoires (Smart *et al.* 2021) ;
 - L'utilisation d'approches artistiques et d'un langage neutre (Jones *et al.* 2020) ;
 - Des outils adaptés aux participants (Smart *et al.* 2021) ;
 - Des informations favorisant l'interaction (Mellado *et al.* 2014).

Adaptation de l'étude et perspectives de recherche

Cette étude a été réalisée dans le cadre du programme Scénario de la FRB, afin d'identifier des lignes directrices en matière de bonnes pratiques pour les chercheurs souhaitant intégrer les **FCM** dans leurs travaux.

Notre critère final, lié aux **enseignements tirés** (*lessons learned*), ne s'est pas révélé aussi pertinent que prévu. Certains articles proposaient très peu de recommandations, tandis que d'autres étaient très détaillés.

Pour aller plus loin, il pourrait être pertinent **d'étendre l'étude à d'autres méthodes de cartographie participative** visant à traduire les **perceptions des parties prenantes** lors de la construction de scénarios, autrement dit **toutes les approches permettant de mieux comprendre les représentations des socio-écosystèmes**.

Cela impliquerait d'**adapter le critère 1** pour inclure les termes « *mental maps* » et « *mind maps* » aux critères de recherche.

CONCLUSION

Les cartes cognitives floues (FCM) peuvent être un outil extrêmement puissant pour comprendre les systèmes socioéconomiques et pour impliquer les parties prenantes ainsi que les communautés locales dans les processus de prise de décision. Les FCM ne produisent pas nécessairement un « *modèle unique et vrai* », mais plutôt une représentation des attentes des parties prenantes. En conséquence, intégrer les points de vue de multiples acteurs et prendre en compte les dynamiques de pouvoir locales est particulièrement pertinent pour garantir une gestion durable des ressources naturelles. Cela est d'autant plus vrai si les FCM permettent de pallier le manque de données et de générer un **modèle communautaire**, exploitable pour la construction de scénarios.

Enfin, les FCM peuvent être considérées comme une **méthode complémentaire** aux autres approches de génération de connaissances sur un système, particulièrement pertinentes pour la construction de scénarios, car elles permettent de **traduire des données qualitatives en données quantitatives**. De plus, les modèles obtenus grâce à la cartographie cognitive floue offrent une **opportunité d'explorer les incertitudes** inhérentes aux systèmes étudiés.

Cependant, la littérature scientifique fait état d'une grande diversité de termes relatifs aux modèles mentaux utilisés comme outil participatif. Une **revue de littérature spécifique** sur ces terminologies, les outils associés et les distinctions mises en avant par les auteurs serait nécessaire. Dans le cadre du programme **Scenarios** de la **FRB**, dont l'objectif principal est d'établir des liens entre l'extraction de modèles mentaux, les récits et la modélisation, il serait particulièrement pertinent **d'élargir la compilation des bonnes pratiques à d'autres types de cartes cognitives et de modèles mentaux**. Une telle démarche permettrait d'identifier les outils les plus appropriés pour les études participatives intégrant l'utilisation de scénarios.

ANNEXE I METHODES

Processus de recherche : cartographie de la littérature

Nous avons établi une liste de critères permettant d'identifier les bonnes pratiques déjà documentées dans la littérature. Ces critères incluaient les éléments suivants :

TABLEAU 1.
Critères et mots-clés associés utilisés pour la revue rapide de littérature.

Critères	Mots-clés associés
L'utilisation de la cartographie cognitive, en particulier la cartographie cognitive floue.	("fuzzy cognitive map*" OR "cognitive map" OR "participatory map*") NB : "Participatory mapping" a été inclus dans l'équation, car certains auteurs utilisent ces termes au lieu de "cognitive mapping" pour décrire un processus similaire.
Processus mené à des échelles locales (région, ville, territoire). Ce périmètre géographique est en accord avec le programme Scénario de la FRB et garantit ainsi la pertinence des résultats pour les porteurs de projets.	(local* OR territor* OR region* OR area OR landscape OR seascape)
La dimension participative dans l'élaboration des scénarios, étant donnée l'attention particulière portée par la FRB à l'implication des acteurs <i>via</i> des méthodes participatives.	(stakeholder\$ OR actor\$ OR dialogue OR debate OR participat* OR concertation OR consultation)
Les articles doivent traiter de la biodiversité, de la conservation, ou de la gestion des espèces et des écosystèmes.	(biodiversity OR species OR wildlife OR environment* OR ecolog* OR ecosystem* OR socioecosystem\$ OR "social-ecological system\$" OR natur* OR sustainab*)
Les articles doivent identifier leurs utilisateurs finaux et la possibilité que leurs résultats soient repris par les décideurs (publics ou privés).	(policy OR "decision-mak*" OR decision\$ OR manag* OR intervention OR conservation OR preservation OR governance)

La construction de scénarios ou d'exercices prédictifs. La cartographie cognitive doit être utilisée dans un but prospectif lié à la biodiversité.	(future OR scenario\$ OR forecast* OR predict* OR prospective)
Les enseignements tirés du processus mis en œuvre.	(guideline\$ OR guidance\$ OR “best practice\$” OR “lesson* learn*” OR experience)

Nous avons utilisé cette équation de recherche dans la base de données *Web of Science (WoS)* en 2023, ce qui nous a permis d'identifier 25 résultats. Parmi ceux-ci, nous avons exclu 7 articles qui s'éloignaient trop de notre sujet : soit leur étude de cas ne portait pas directement sur la biodiversité, soit la méthodologie employée ne reposait pas sur la cartographie cognitive telle que définie dans notre programme, soit les résultats obtenus n'étaient pas explicitement utilisés pour construire des scénarios. Nous supposons que le petit volume de littérature est lié à l'ajout de mots-clés liés aux bonnes pratiques et recommandations, et que le taux d'exclusion élevé est en partie lié à l'inclusion du terme « *participatory mapping* » dans notre recherche (voir *Discussion*).

Analyse du corpus

Sur les 18 articles restants, 7 étaient particulièrement pertinents pour notre étude, car ils mentionnaient explicitement l'utilisation des FCM. Ils constituent le cœur de cette étude et la base des bonnes pratiques identifiées. Les 11 autres articles ont été retenus mais traités dans un second temps, car ils présentaient des méthodologies comparables aux FCM ; leurs aspects méthodologiques ont été abordés dans la section *Discussion*.

Les études de cas recensées dans la littérature couvrent différentes régions du monde, bien que la majorité soit située en Europe. Les trois études asiatiques proviennent d'Inde et portent sur le changement climatique, l'irrigation agricole, les événements extrêmes (comme les vagues de chaleur), l'urbanisation, avec un fort accent sur les défis socio-économiques. Parmi les autres défis liés à la biodiversité étudiés dans la littérature, on retrouve :

- La croissance du tourisme et les conflits territoriaux associés, ainsi que la surpêche d'espèces vulnérables en Mélanésie ;
- Le changement d'usage des terres agricoles dans un paysage alpin traditionnel ;

- Les impacts de l'agriculture mixte sur la qualité de l'eau potable dans un bassin versant en Écosse ;
- Les émotions et valeurs associées à la réintroduction du castor européen dans le sud-ouest de l'Angleterre ;
- La surexploitation des eaux souterraines et l'épuisement des aquifères dans le bassin espagnol du Guadiana ;
- La fréquence croissante des vagues de chaleur, des sécheresses et des incendies de forêt, ainsi que l'expansion des espèces nuisibles et des espèces exotiques envahissantes (IAS) au Portugal ;
- La double pression de l'élévation du niveau de la mer et de l'expansion urbaine en Caroline du Sud ;
- L'implication des pêcheurs locaux dans la définition des lignes directrices des aires marines protégées (AMP) en Uruguay.

Dans la majorité des études sélectionnées, les recherches sont inter- et **transdisciplinaires**, avec une forte contribution des sciences sociales. De plus, du fait de l'accent mis sur les processus participatifs, ces études intègrent les visions de divers acteurs, et certaines s'appuient sur les **connaissances écologiques locales et autochtones (ILK - *Indigenous Local Knowledge*)**. Au-delà de l'intérêt intrinsèque de cette approche, l'importance de prendre en compte cette diversité d'acteurs dans les processus de cartographie cognitive a été développée dans les sections précédentes.

RÉFÉRENCES

Aswani, Shankar, Amy Diedrich, et Kitty Currier. 2015. « Planning for the Future: Mapping Anticipated Environmental and Social Impacts in a Nascent Tourism Destination ». *Society & Natural Resources* 28 (7): 703-19. <https://doi.org/10.1080/08941920.2015.1020582>

Blewett, Andrew, Maarten Jacobs, Kasper Kok, Natalie A Jones, Sharron Ogle, et Edward Huijbens. 2022. « Emotionally Augmented Mental Models, Connectivity and Beaver Reintroduction in Southwest England ». *Ecology and Society*

Bonycastle, Marleny, et Maureen Simpkins. 2020. « Research Relationships: Collaboration, Reflection, and Sustainability in a Northern Canadian Resource Town ». *The Northern Review* 49 (janvier). <https://doi.org/10.22584/nr49.2019.015>

Brown, Greg, et Delene Weber. 2011. « Public Participation GIS: A New Method for National Park Planning ». *Landscape and Urban Planning* 102 (1): 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2011.03.003>

Carmona, Gema, Consuelo Varela-Ortega, et John Bromley. 2013. « Participatory Modelling to Support Decision Making in Water Management under Uncertainty: Two Comparative Case Studies in the Guadiana River Basin, Spain ». *Journal of Environmental Management* 128 (octobre):400-412. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.05.019>

Derkzen, Marthe L., Harini Nagendra, Astrid J. A. Van Teeffelen, Anusha Purushotham, et Peter H. Verburg. 2017. « Shifts in Ecosystem Services in Deprived Urban Areas: Understanding People's Responses and Consequences for Well-Being ». *Ecology and Society* 22 (1): art51. <https://doi.org/10.5751/ES-09168-220151>

Furman, Kelsi L., Payam Aminpour, Steven A. Gray, et Steven B. Scyphers. 2021. « Mental Models for Assessing Coastal Social-Ecological Systems Following Disasters ». *Marine Policy* 125 (mars):104334. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2020.104334>

Jones, Lizzie, Robert A. Holland, Jennifer Ball, Tim Sykes, Gail Taylor, Lisa Ingwall-King, Jake L. Snaddon, et Kelvin S.-H. Peh. 2020. « A Place-based Participatory Mapping Approach for Assessing Cultural

Ecosystem Services in Urban Green Space ». Édité par Richard Ladle. *People and Nature* 2 (1): 123-37. <https://doi.org/10.1002/pan3.10057>

Malek, Žiga, et Luc Boerboom. 2015a. « Participatory Scenario Development to Address Potential Impacts of Land Use Change: An Example from the Italian Alps ». *Mountain Research and Development* 35 (2): 126. <https://doi.org/10.1659/MRD-JOURNAL-D-14-00082.1>

Malek, Žiga, et Luc Boerboom. 2015b. « Participatory Scenario Development to Address Potential Impacts of Land Use Change: An Example from the Italian Alps ». *Mountain Research and Development* 35 (2): 126. <https://doi.org/10.1659/MRD-JOURNAL-D-14-00082.1>

Mellado, Tiscar, Timothée Brochier, Julien Timor, et Javier Vitancurt. 2014. « Use of Local Knowledge in Marine Protected Area Management ». *Marine Policy* 44 (février):390-96. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2013.10.004>

Özesmi, Uygar, et Stacy L. Özesmi. 2004. « Ecological Models Based on People's Knowledge: A Multi-Step Fuzzy Cognitive Mapping Approach ». *Ecological Modelling* 176 (1-2): 43-64. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2003.10.027>

Papageorgiou, Elpiniki I., et Jose L. Salmeron. 2013. « A Review of Fuzzy Cognitive Maps Research During the Last Decade ». *IEEE Transactions on Fuzzy Systems* 21 (1): 66-79. <https://doi.org/10.1109/TFUZZ.2012.2201727>

Paria, Bidur, Amartya Pani, Pulak Mishra, et Bhagirath Behera. 2021. « Irrigation-Based Agricultural Intensification and Future Groundwater Potentiality: Experience of Indian States ». *SN Applied Sciences* 3 (4): 449. <https://doi.org/10.1007/s42452-021-04417-7>

Peralta-Rivero, Carmelo, M. Guadalupe Galindo-Mendoza, Carlos Contreras-Servín, Marcos Algara-Siller, et Jean François Mas-Caussel. 2016. « Percepción local respecto a la valoración ambiental y pérdida de los recursos forestales en la región Huasteca de San Luis Potosí, México ». *Madera y Bosques* 22 (1). <https://doi.org/10.21829/myb.2016.221478>

Puerari, Emma. 2013. « Knowledge Co-Creation for Urban Services Innovation »

Reckien, Diana. 2014. « Weather Extremes and Street Life in India—Implications of Fuzzy Cognitive Mapping as a New Tool for Semi-Quantitative Impact Assessment and Ranking of Adaptation Measures ». *Global Environmental Change* 26 (mai):1-13. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2014.03.005>

Roberts, Michaela, Anja Byg, Michela Faccioli, Paula Novo, et Carol Kyle. 2021. « Stakeholder Perceptions of Public Good Provision from Agriculture and Implications for Governance Mechanism Design ». *Journal of Environmental Planning and Management* 64 (2): 289-307. <https://doi.org/10.1080/09640568.2020.1763274>

Salmeron, Jose L., et Elpiniki I. Papageorgiou. 2014. « Fuzzy Grey Cognitive Maps and Nonlinear Hebbian Learning in Process Control ». *Applied Intelligence* 41 (1): 223-34. <https://doi.org/10.1007/s10489-013-0511-z>

Smart, Lindsey S., Jelena Vukomanovic, Erin O. Sills, et Georgina Sanchez. 2021. « Cultural Ecosystem Services Caught in a ‘Coastal Squeeze’ between Sea Level Rise and Urban Expansion ». *Global Environmental Change* 66 (janvier):102209. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2020.102209>

Tauzer, Erica, Mercy J Borbor-Cordova, Jhoyzett Mendoza, Telmo De La Cuadra, Jorge Cunalata, et Anna M Stewart-Ibarra. 2019. « A Participatory Community Case Study of Periurban Coastal Flood Vulnerability in Southern Ecuador ». Édité par Matthew Kahn. *PLOS ONE* 14 (10): e0224171. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0224171>