

Mémoire

Auteur : Jaumain, Emilien

Promoteur(s) : Degré, Aurore; Michez, Adrien

Faculté : Faculté des Sciences

Diplôme : Master en sciences et gestion de l'environnement, à finalité spécialisée

Année académique : 2024-2025

URI/URL : <http://hdl.handle.net/2268.2/23799>

Avertissement à l'attention des usagers :

Tous les documents placés en accès ouvert sur le site le site MatheO sont protégés par le droit d'auteur. Conformément aux principes énoncés par la "Budapest Open Access Initiative"(BOAI, 2002), l'utilisateur du site peut lire, télécharger, copier, transmettre, imprimer, chercher ou faire un lien vers le texte intégral de ces documents, les disséquer pour les indexer, s'en servir de données pour un logiciel, ou s'en servir à toute autre fin légale (ou prévue par la réglementation relative au droit d'auteur). Toute utilisation du document à des fins commerciales est strictement interdite.

Par ailleurs, l'utilisateur s'engage à respecter les droits moraux de l'auteur, principalement le droit à l'intégrité de l'oeuvre et le droit de paternité et ce dans toute utilisation que l'utilisateur entreprend. Ainsi, à titre d'exemple, lorsqu'il reproduira un document par extrait ou dans son intégralité, l'utilisateur citera de manière complète les sources telles que mentionnées ci-dessus. Toute utilisation non explicitement autorisée ci-avant (telle que par exemple, la modification du document ou son résumé) nécessite l'autorisation préalable et expresse des auteurs ou de leurs ayants droit.

ULiège - Faculté des Sciences - Département des Sciences et Gestion de l'Environnement

ULiège - Faculté de Gembloux Agro-Bio Tech (GxABT)

ÉLABORATION D'UN OUTIL DE CONCERTATION PUBLIQUE DANS LE CADRE DU PROJET MODREC2 : CONCEPTION COLLECTIVE D'UN RÉSEAU D'AMÉNAGEMENTS DANS UN BASSIN HYDROGRAPHIQUE PILOTE

EMILIE JAUMAIN

**MEMOIRE PRÉSENTÉ EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLÔME DE
MASTER EN SCIENCES ET GESTION DE L'ENVIRONNEMENT, A FINALITE SPECIALISEE**

ANNÉE ACADÉMIQUE 2024-2025

RÉDIGÉ SOUS LA DIRECTION DE MADAME AURORE DEGRÉ ET MONSIEUR ADRIEN MICHEZ

COMITÉ DE LECTURE :

MADAME LISA DI MAGGIO

MONSIEUR JOOST WELLENS

Copyright

Toute reproduction du présent document, par quelque procédé que ce soit, ne peut être réalisée qu'avec l'autorisation de l'auteur et de l'autorité académique* de l'Université de Liège.

*L'autorité académique est représentée par le(s) (co-)promoteur(s), membre(s) du personnel enseignant de l'Université de Liège.

Le présent document n'engage que son auteur.

Auteur du présent document : JAUMAIN Emilien

Jaumain.emilien@gmail.com

Remerciements

J'aimerais tout d'abord remercier Monsieur Joost Wellens, qui m'a aidé dans ma démarche de recherche de stage et de sujet de travail de fin d'études. Par le biais de ses contacts, j'ai eu l'opportunité d'en apprendre plus sur une thématique que j'affectionne.

Je remercie particulièrement Madame Aurore Degré qui m'a accueilli dans l'équipe ModRec2 après le désistement du Contrat de Rivière Vesdre, faute de subsides. Je la remercie également pour son suivi tout au long du stage et pour les conseils donnés lors de la rédaction de mon mémoire.

Je suis reconnaissant envers toute l'équipe ModRec2 : Adrien Michez, Benjamin Guillaume et particulièrement Camille Wezel et Lisa Di Maggio qui m'ont accueilli dans leur bureau et fait découvrir le travail au sein d'une institution académique. Elles m'ont également soutenu et conseillé dans le cadre de mon stage et de la réalisation de mon mémoire.

Merci également à Madame Marie Heymans du Contrat de Rivière du sous-bassin hydrographique de la Vesdre pour les riches échanges et les conseils.

Enfin, j'aimerais remercier ma famille pour le soutien durant la période de rédaction et particulièrement ma grand-mère, Madame Nicole Lambert, qui a pu m'offrir un cadre optimal de travail qui m'a permis d'être dans les meilleures conditions.

Résumé

Les inondations de l'été 2021 ont démontré la vulnérabilité du bassin versant de la Vesdre. Ce phénomène a dépassé les limites des dispositifs existants dans le bassin versant. L'occupation du sol a également été pointée du doigt à la suite du ruissellement exceptionnel survenu, notamment en raison de l'artificialisation des sols et de certains choix d'aménagement du territoire. Le besoin d'intégrer l'hydrologie dans l'aménagement du territoire et de repenser ce dernier s'est fait ressentir.

Le projet ModRec a été lancé afin de modéliser le bassin versant et d'y étudier les effets d'aménagements naturels à visée hydrologique, tels que les SFN, sur le ruissellement à l'échelle du bassin versant. Les premiers résultats de ces pratiques naturelles se sont révélés intéressants. L'Université de Liège (Gembloux Agro-Bio Tech) et le Contrat de rivière Vesdre (CRV) se sont alors réunis en vue d'une concertation avec la population afin co-construire, avec les acteurs locaux, un plan d'aménagement sur un bassin hydrographique pilote dit « territoire d'innovation hydrologique ».

C'est dans cette démarche que la création d'un jeu sérieux s'est imposée comme un outil de concertation territoriale. L'étude des jeux et des jeux sérieux en particulier démontre de véritables avantages dans le cadre de la concertation et de la co-élaboration en vue d'établir un plan d'aménagement durable. Cette pratique permet de vulgariser des informations complexes et met l'accent sur la collaboration et l'engagement des participants.

La finalité de ce projet réside dans une meilleure compréhension collective et le développement de l'attrait pour les SFN auprès des acteurs locaux.

Table des matières

Remerciements.....	3
Résumé	4
Table des matières.....	5
Table des acronymes	7
Table des figures.....	8
1 Introduction	10
1.1 Contexte Hydrologique	10
1.2 Dynamique de réaction	10
1.3 ModRec	11
2 ETAT DE L'ART	12
2.1 Historique des jeux de société	12
2.1.1 Contexte	12
2.1.2 Conclusion.....	14
2.2 Historique des jeux sérieux.....	15
2.2.1 Premières traces.....	15
2.2.2 L'évolution des Jeux sérieux	15
2.2.3 Classification des jeux sérieux, modèle G/P/S	16
2.2.4 La motivation.....	17
2.2.5 Les effets de la mobilisation mentale et émotionnelle des jeux sérieux	17
2.2.6 Le principe de Co-conception.....	18
2.2.7 Conclusion.....	19
2.3 Les jeux sérieux en lien avec l'environnement	20
2.3.1 Introduction à la question environnementale	20
2.3.2 Jeux sérieux et environnement	21
2.3.3 Réflexion autour de la conception d'un jeu sérieux	22
2.3.4 Bénéfices et limites des jeux sérieux en lien avec la cause environnementale	23
2.3.5 Conclusion des liens entre les jeux sérieux et l'environnement	24
2.4 L'hydrologie et le concept des jeux sérieux	25
2.4.1 Introduction à l'hydrologie.	25
2.4.2 Lien théorique entre l'hydrologie et les jeux sérieux	25
2.4.3 Conclusion des atouts des jeux sérieux pour l'hydrologie.....	26
2.5 Recensement de jeux sérieux abordant le domaine de l'hydrologie	27
2.5.1 Introduction	27
2.5.2 Fresque des inondations	27

2.5.3	LittoSIM	28
2.5.4	Cit'In Crise	29
2.5.5	Sim-MANA.....	30
2.5.6	Mission inondation.....	31
2.5.7	Crue & d'eau.....	32
2.5.8	Consiliari	33
2.6	Grille d'analyse des jeux sérieux :.....	35
2.7	Conclusion de l'état de l'art portant sur les jeux sérieux.....	37
2.8	Solutions fondées sur la nature prises en compte dans la conception du jeu sérieux	38
2.8.1	Introduction	38
2.8.2	Référentiel de l'Union internationale pour la conservation de la nature	38
2.8.3	Défis et arbitrages environnementaux	39
2.8.4	Les différents aménagements.....	40
2.8.5	Conclusion NBS	54
3	Conception d'un jeu sérieux abordant la thématique du ruissellement pour le bassin versant de la Vesdre – Phase expérimentale	55
3.1	Cahier des charges théorique	55
3.1.1	Principes directeurs	55
3.1.2	Caractéristiques	56
3.2	Cahier des charges technique du jeu sérieux	58
3.2.1	Nom du jeu : Défi-RuisselNat.....	58
3.2.2	Contraintes	58
3.2.3	Support de jeu	58
3.2.4	Vulgarisation	59
3.2.5	Libertés.....	60
3.2.6	Déroulement d'une partie.....	61
3.2.7	Contenu de « Défis-RuisselNat »	61
3.2.8	Règles du jeu	78
3.3	Partie expérimentale	80
3.4	Pistes d'améliorations.....	81
4	Conclusion	82
5	Bibliographie	83

Table des acronymes

CoDT : Code du Développement Territorial

SDER : Schéma de Développement de l'Espace Régional (CoDT)

PASH : Plan d'Aménagement par Sous-bassin Hydrographique (CoDT & Code de l'eau)

SDC : Schéma de Développement Communal

SPW : Service Public de Wallonie

SSV : Schéma Stratégique Vesdre

NBS : Natural Based Solution

SFN : Solutions Fondées sur la Nature

RDI : Référent Départemental Inndation

DDT(M) : Direction Départementales des Territoires et de la Mer

ARÉAS : Association Recherche-Education-Action pour le Sol et l'Agroforesterie Sociale

DNF : Département de la Nature et des Forêts

PAC : Politique Agricole Commune

MAEC : Méthodes Agro-Environnementales et Climatiques

DAFOR : Direction de l'Aménagement FONcier Rural

SIGEC : Système intégré de gestion et de contrôle

CNC : (computer Numerical Control)

PVC : Polyvinyl chloride ou Polychlorure de vinyle

IRM : Institut Royal Météorologique

Table des figures

Figure 1: Trois pièces de jeu en os d'articulation. Source: metmuseum.org	12
Figure 2: Jeu du Senet "Plateau de jeu et pièces de jeu". Source: brooklynmuseum.org	12
Figure 3: Plateau de jeu Mehen. Collection du musée Fitzwilliam E.GA.4464.1943. Source: fitzmuseum.cam.ac.uk	13
Figure 4: Document 2. Changements de la température de surface globale par rapport à 1850–1900, GIEC, groupe 1, 6e rapport d'évaluation, traduction de Yann Rozier, 2021. Source: geoconfluences.ens-lyon.fr	20
Figure 5: Fresque des inondations, Source : cpdt.wallonie.be	27
Figure 6: LA MALLE PEDAGOGIQUE. Source : citincri.semines-stetienne.fr	29
Figure 7: capture d'écran de la vidéo "Découvrez les secrets des SFN grâce à un jeu sérieux", la maquette du jeu Sim-MANA. Source : youtube.com/watch?v=8WdoZB6_06w	30
Figure 8: Alex a de l'eau jusqu'aux bottes, son sac d'évacuation sur le dos, prête à quitter son domicile. Source : irma-grenoble.com	31
Figure 9: Extrait de la mission 2-8 « Naviguer dans les rues inondées en esquivant les pièges ». Source : irma-grenoble.com	31
Figure 10: Plateau du jeu "Crue et d'eau". Source : oise-aisne.net	32
Figure 11: "Figure 2. Visuel du plateau de jeu « territoire »". Source: tandfonline.com	33
Figure 12: Tableau comparatif par concept des différents jeux sérieux en lien avec l'hydrologie. Source : Jaumain Emilien, création personnelle.	35
Figure 13: Tableau comparatif technique des différents jeux sérieux en lien avec l'hydrologie. Source : Jaumain Emilien, création personnelle.	36
Figure 14: Image de l'article :Une véritable haie d'honneur pour elle à Ath, Lessines et ailleurs. "La haie a un aspect esthétique. Mais surtout, elle remplit des missions agri-environnementales importantes. ©L'Avenir - F.H." Source: lavenir.net	40
Figure 15: "Fascine morte + Haie". Source: syndicat-sage-nonette.fr	42
Figure 16: Lutte contre l'érosion des sols. Construction d'une fascine dans un champ de blé afin d'éviter les coulées de boues sur la route Menos de S. Leitenberger. Sourn: stock.adobe.com ..	43
Figure 17: La mare. Source: sbvsvs.fr	45
Figure 18: exemple de fossé à redentst : Source : Vicus urba, Gestion de l'hydraulique du vignoble et DIG	47
Figure 19: Un fossé à redents sera aménagé. Source : lavenir.net	47
Figure 20: Photo Fossé Talus Haie. Source : dervenn.com	49
Figure 21: Exemple de Keyline Design. Rancho San Ricardo, Mexico. Source : paysages-fertiles.fr	50
Figure 22: Fissuration du sol. Source : ridgedalepermaculture.com	51
Figure 23: "Notre charrue 6SB importée d'Australie 2013". Source : ridgedalepermaculture.com	52
Figure 24: Paysage bocager, « Des parcelles plus petites et plus diversifiées favorisent la diversité des plantes jusqu'au centre des champs ». Source: inrae.fr	53
Figure 25: Carte Défi-RuisselNat, Agriculteur-trice. Source : Jaumain Emilien, Canva.....	63
Figure 26: Carte Défi-RuisselNat, Citoyen-ne. Source : Jaumain Emilien, Canva.	63
Figure 27: Carte Défi-RuisselNat, Expert-e. Source : Jaumain Emilien, Canva.	64
Figure 28: Carte Défi-RuisselNat, Agent-e communal-e. Source : Jaumain Emilien, Canva.	64
Figure 29: Carte Défi-RuisselNat, Propriétaire foncier. Source : Jaumain Emilien, Canva.	65
Figure 30: Carte Défi-RuisselNat, Elu-e. Source : Jaumain Emilien, Canva.	65
Figure 31: Taux théorique et taux ludique d'infiltration	67

Figure 32 : Carte Défi-RuisselNat, Haie. Source : Jaumain Emilien, Canva.	67
Figure 33: Carte Défi-RuisselNat, Fascine-Haie. Source : Jaumain Emilien, Canva.	68
Figure 34: Carte Défi-RuisselNat, Mare. Source : Jaumain Emilien, Canva.	68
Figure 35: Carte Défi-RuisselNat, Fossé à redents. Source : Jaumain Emilien, Canva.	69
Figure 36: Carte Défi-RuisselNat, Fossé-talus-haie. Source : Jaumain Emilien, Canva.....	70
Figure 37: Carte Défi-RuisselNat, Keyline. Source : Jaumain Emilien, Canva.	70
Figure 38: Carte Défi-RuisselNat, Fissuration. Source : Jaumain Emilien, Canva.	71
Figure 39: Carte Défi-RuisselNat, Redessin parcellaire. Source : Jaumain Emilien, Canva.....	72
Figure 40: Pions. Source : Jaumain Emilien, Canva.	73
Figure 41: Plateau de jeu, phase finale 1. Source : Jaumain Emilien, Canva.	74
Figure 42: Plateau de jeu, phase finale 2. Source : Jaumain Emilien, Canva.	74
Figure 43: Plateau de jeu final. Source : Jaumain Emilien, Canva.	75
Figure 44: Calque ruissellement final. Source : Jaumain Emilien, Canva.....	76
Figure 45: Calque direction ruissellement. Source : Jaumain Emilien, Canva.	76
Figure 46: Calque tracé ruissellement. Source : Jaumain Emilien, Canva.	77
Figure 47: Calque direction ruissellement tour 2 et 3. Source : Jaumain Emilien, Canva.	77
Figure 48: Calque tracé ruissellement tour 2 et 3. Source : Jaumain Emilien, Canva.	78
Figure 49 : Tableau "Portefeuille joueur et tour de jeu".....	80
Figure 50 : "Ruissellement joueur et tour de jeu".....	80
Figure 51: Partie test du jeu sérieux "Défi-RuisselNat", Source : Jaumain Emilien, Photo appareil mobile.	80

1 Introduction

1.1 Contexte Hydrologique

À l'été 2021, la Wallonie est confrontée à des inondations sans précédent sur l'ensemble de son territoire. Ce sont 209 communes wallonnes sur les 262 qui ont été touchées. La province de Liège et particulièrement le bassin versant de la Vesdre ont été les plus touchés. Selon l'Institut Royal Météorologique (IRM), il a plu sur 48 heures : 271,5 mm à Jalhay, 217,1 mm à Spa ou encore 192,4 mm au Mont-Rigi. À titre de comparaison, un orage classique représente entre 20 et 50 mm de précipitations en une à deux heures. Lorsque le territoire ne peut faire face à ce genre de phénomène météorologique exceptionnel, cela donne naissance à un ruissellement important vers l'aval. Dans les fonds de vallée encaissés, les habitants ont été pris de court. Certains ont tout perdu. Ce sont des millions de mètres cubes d'eau qui se sont déversés avec une force inouïe, détruisant habitations, infrastructures routières, ...

Au lendemain des inondations, les chiffres ont évoqué l'ampleur de la situation. Sur l'ensemble du territoire wallon, plus de 100 000 personnes sont déclarées sinistrées, 48 000 bâtiments, 11 000 voitures, 559 ponts sont endommagés ou détruits. Les inondations sont aussi la catastrophe naturelle la plus meurtrière de la Belgique avec un total de 39 victimes selon les chiffres communiqués par le Gouvernement wallon dans un communiqué de presse du 4 juillet 2022 « Inondations de juillet 2021 : Bilan et perspectives ».

1.2 Dynamique de réaction

Afin de ne plus revivre une telle situation, les différents décideurs et acteurs du territoire se sont mis autour de la table dans le but de discuter des différents points d'attention. Une priorité est d'améliorer la protection des populations. Les populations précaires sont souvent les moins bien informées et les plus touchées par ces phénomènes climatiques. Nous qualifions cela d'enjeu sociétal. D'un point de vue économique, investir dans la prévention sera bien plus avantageux que de soumettre aux coûts des dommages matériels et des pertes liés aux activités économiques. L'aspect environnemental est aussi à mettre en avant afin de lutter contre la dégradation des sols, mais aussi des milieux naturels sensibles pouvant devenir des zones tampons clés en période de crue.

Depuis plusieurs siècles, l'être humain a apporté des modifications territoriales importantes au niveau de l'occupation du sol. Dans de nombreux cas, elle est problématique dans le cadre hydrologique. Un sol artificialisé ou transformé ne sera plus en mesure de remplir ses fonctions naturelles d'infiltration et de rétention d'eau. C'est pourquoi un enjeu majeur réside dans la construction de plans d'aménagement adaptés selon le territoire. L'urbanisme, à l'aide des différents outils disponibles (SDER, PASH, SDC...), se doit d'intégrer la notion d'hydrologie afin d'améliorer la résilience du territoire. On parlera donc d'enjeux de gouvernance et de coordination entre les différents niveaux de pouvoir concernant l'occupation du sol.

Le Schéma Stratégique Vesdre (SSV) est apparu comme un élément majeur de planification et d'orientation territoriale. Dans sa réponse à une question écrite posée par Christophe Bastin le 07/03/2024 au Ministre Willy Borsus, ce dernier répond : « Ce schéma établit une vision territoriale orientée vers une reconstruction résiliente et cohérente du bassin de la Vesdre, en intégrant des principes d'adaptation climatique et de solidarité territoriale, à l'horizon 2050. Le schéma stratégique exprime à cet égard des principes généraux d'aménagement et propose des orientations, mais également des mesures concrètes ayant pour objectif d'aider les autorités

communales et régionales, mais aussi les professionnels de l'aménagement du territoire et les citoyens dans leurs projets pour l'avenir. ».

1.3 ModRec

Dans le cadre de la lutte contre les inondations, une convention nommée ModRec-Vesdre a été notifiée le 10 mai 2022 entre l'Université de Liège (Liège) et le Service Public de Wallonie (SPW). Son objectif est de réaliser une modélisation hydrologique du bassin versant de la Vesdre afin de quantifier les impacts d'éventuels aménagements de restauration hydrologique repris dans le Schéma Stratégique Vesdre (SSV).

Les résultats de ce projet ont démontré que les aménagements dans le milieu agricole peuvent avoir une grande efficacité hydrologique pour peu de territoire aménagé. Les aménagements naturels de type Solution Fondées sur la Nature (SFN) démontre une grande efficacité.

À la suite de cette quantification qu'a pu amener le projet ModRec, une deuxième phase a pu débuter avec une différenciation entre ces deux projets nommés ModRec1 et ModRec2.

Cette deuxième approche distingue deux modélisations. Une sur l'ensemble du bassin versant et une autre via la modélisation de bassins-versants pilotes désignés comme « territoires d'innovations hydrologiques ». Dans ces territoires d'innovations, une démarche de concertation a été établie entre les communes, le contrat de rivière (CR), les propriétaires et les exploitants. Les territoires se trouvent sur des communes différentes et ont été désignés principalement en fonction de l'occupation du sol. La finalité est de simuler différents scénarios d'aménagement à caractère hydrologique distinct dont une situation comprenant un plan d'aménagement co-construit avec tous les acteurs locaux et accepté par l'ensemble des parties prenantes.

C'est dans ce dernier scénario qu'il est indispensable de mettre en place des outils de concertation afin de répondre à plusieurs enjeux fondamentaux. La création de tels outils va permettre de transiter vers un scénario de modèle de gestion amélioré et plus résilient, prenant en compte les solutions proposées par le citoyen en plus de celles apportées par le projet. Les points d'intérêt des différents acteurs seront mis en lumière. Les aménagements proposés par le projet impacteront les agriculteurs, habitants, instances communales et l'environnement. Le but de la concertation dans le cadre de ModRec2 est d'allier les attentions divergentes des acteurs afin de développer le futur plan d'aménagement territorial. Le Contrat de Rivière Vesdre (CRV) se chargera en majeure partie de l'aspect lié à la concertation publique. Un outil de concertation sera le bienvenu lors des séances d'information auprès de la population. C'est dans cette démarche que les jeux sérieux apparaissent comme une formule stimulante et éducative dans le but de concerter et d'impliquer la population.

La création d'un jeu sérieux se basera sur une recherche académique portant les atouts et la conception. Plusieurs pistes de réflexion seront explorées afin de sélectionner une façon d'aborder la conception du jeu. Les SFN étant au centre de l'étude du projet ModRec, il est indispensable de recenser leurs caractéristiques hydrologiques et techniques dans le but de les implémenter au jeu sérieux.

2 ETAT DE L'ART

L'objectif de cet état de l'art est de comprendre à quels niveaux les jeux sérieux sont utiles à des fins de consultation publique et lors de projets environnementaux. Dans cet état de l'art, seront retracées, les origines des jeux de société et des jeux sérieux. Il s'orientera ensuite vers l'utilité de ces derniers dans le domaine de l'environnement et particulièrement dans le domaine de l'hydrologie.

2.1 Historique des jeux de société

2.1.1 Contexte

Les premières traces de jeux de société sont recensées au Proche-Orient et remontent à l'époque néolithique (6000 à 12 000 ans av. J.-C.). Ils se présentaient sous forme de jeux de course avec des pièces à faire avancer sur un plateau, ou une piste de jeu parsemée de trous. Les dés sont déjà à l'époque, des éléments essentiels du jeu et permettent de faire avancer les pièces. Ils présentent 2, 4 ou encore 6 faces différentes. Des lancers de bâtons étaient également utilisés à ces fins, il semble qu'ils étaient l'élément le plus utilisé en tant qu'élément « randomisant ». Ces bâtons étaient lancés durant les parties, et conçus à partir de bois ou d'ossements d'origine animale. D'après Anne-Elizabeth Dunn-Vaturi dans son article « Jeux de société de l'Égypte ancienne et du Proche-Orient » (1^{er} octobre 2018), les os utilisés comme dés étaient ceux des articulations (l'os astragale) des moutons ou des chèvres, car ces derniers avaient quatre faces différentes et permettaient d'être utilisés comme les dés actuels.



Figure 1: Trois pièces de jeu en os d'articulation. Source: metmuseum.org

Certains jeux furent, à l'époque des pharaons, utilisés lors des rituels religieux. Des traces archéologiques de jeux sont présentes dans les tombes et sur des papyrus où ils avaient une signification symbolique pour les défunts. La transmission de ceux-ci, à l'époque, a été possible grâce aux conflits entre l'Égypte et Proche-Orient.

Le jeu dit « Senet » (Figure ..), est le jeu le plus célèbre à l'époque de l'Égypte ancienne et fut un jeu associé au fil du temps au voyage vers l'au-delà. Il était composé de 30 cases et de pions à déplacer en « S ».



Figure 2: Jeu du Senet "Plateau de jeu et pièces de jeu". Source: brooklynmuseum.org

Un autre jeu portant le nom de « l'enroulé », dit « Mehen », était un jeu qui représentait un serpent qui protège instinctivement ses œufs. Ce jeu en spirale était lié au chemin de l'au-delà et il est possible qu'il soit lié à certains rituels mortuaires. Le jeu mettait en lumière le lien entre Mehen, qui s'enroule autour de Rê afin d'assurer la protection de ce dieu du Soleil (Rê), créateur de l'univers. Le but étant de rejoindre le centre du plateau circulaire, qui selon les Textes des Pyramides représenterait une façon d'atteindre l'au-delà.



Figure 3: Plateau de jeu Mehen. Collection du musée Fitzwilliam E.GA.4464.1943. Source: fitzmuseum.cam.ac.uk

Les jeux de société avaient une fonction dans les croyances religieuses. De par les différents matériaux retrouvés sur les boîtes de jeu, la conclusion est que la population entière était concernée et avait accès à ces divertissements. Le lien étroit avec la protection divine et l'accès à l'au-delà étaient des éléments très importants à l'époque pour la population.

L'Égypte n'est pas la seule région où a été ressencée la création de jeux. En Mésopotamie, dans la région de l'Irak actuelle, un jeu de plateau de rapidité a été retrouvé. Il daterait de 2600 av. J.-C. Des écrits plus récents (II ème siècle av. J.-C.), sont retrouvés et permettent de comprendre que la stratégie et le hasard étaient mis en avant dans les jeux. Ces découvertes permettent de confirmer un attrait pour les éléments ludiques dans la société mésopotamienne. Les jeux étaient également en lien avec la religion et la mort.

Les dés les plus anciens retrouvés à ce jour viennent de la vallée de l'Indus, située au Pakistan actuel, en Inde et en Afghanistan. Ces dés sont recueillis dans les sites archéologiques réputés tels que Harappa et Mohenjo-Daro, tout comme d'autres pions et potentiels plateaux de jeu. Les historiens ne peuvent expliquer les usages des jeux mais les formes de jeu hasardeuses comme l'emploi de dés, semblent avoir été détournées sous forme ludique par cette civilisation (2600 à 1900 av.J.-C.).

Plusieurs civilisations ont, par contre, utilisé les jeux à des fins militaires. Les Mayas et les Grecs de la Grèce antique jouaient à des jeux où étaient représentées des troupes. Les déplacements des armées ont été source d'inspiration pour la conception des jeux surtout chez les Grecs. Les Aztèques, eux, pratiquaient les jeux de hasard, ou encore, les paris à l'aide de plateaux de jeu et de dés sous diverses formes. En Amérique, les jeux avaient une tendance religieuse et étaient également liés au calendrier et à ses fêtes. Après analyse de gravures représentant des plateaux de jeu sur certaines pierres dans les espaces public, on constate que les romains avaient une tendance à utiliser les jeux à des fins ludiques dans des lieux de rencontres. En Chine, le « Lubio » se jouait avec un plateau en forme de « T » et des pièces qu'il fallait déplacer à l'aide d'une variable aléatoire que représentait un dé ou des baguettes. Le développement des jeux à des fins militaires s'est aussi opéré en Chine avec un autre jeu, le « GO » (traces dans les textes remontant au IVe av. J.-C.). Il consiste à déplacer des pierres blanches et noires dans le but de contrôler un territoire.

Selon Juul (2003), un jeu est considéré comme tel lorsqu'il remplit six conditions. Les règles doivent être fixes afin d'imposer cadre similaire pour tous les joueurs. Le résultat du jeu se doit d'être quantifiable et différent selon les parties. Pour deux résultats gagnants, l'un peut sembler meilleur aux yeux des différents joueurs que l'autre.

Le joueur a dû utiliser ses capacités physiques ou cognitives afin d'obtenir un résultat. Les participants sont concentrés et souhaitent parvenir à leur objectif, ils développent un attachement à ce dernier. Enfin, les conclusions du jeu amèneront à des effets limités en fonction du contexte.

2.1.2 Conclusion

Les origines et le développement du jeu de société se sont opérés aux quatre coins de la planète parfois sans échange d'information et de manière indépendante. Les traces les plus anciennes ont pour origines l'Égypte, la Mésopotamie, la Mésoamérique, l'Europe actuelle avec les Grecs et les Romains, ou encore la vallée de l'Indus et la Chine. L'être humain a eu le besoin d'interagir et de répondre à certains besoins ou croyances, de manière différente. Le divertissement sera une des bases de la création de ces jeux qui ont tout de suite pris de l'ampleur auprès de la population.

Les jeux ont été associés de plusieurs manières aux croyances et à la religion par le biais des rituels funéraires, des représentations de l'au-delà et de la divinité. L'aspect stratégique étant parfois combiné aux principes du hasard, les jeux ont repris les caractéristiques des conflits armés. C'est ainsi que les jeux de déplacements ont vu le jour.

2.2 Historique des jeux sérieux

2.2.1 Premières traces

Depuis leurs premières traces, les jeux de société ont continué de se développer jusqu'à aujourd'hui, incluant toujours les principes de l'époque que sont la stratégie et le hasard. L'allemand Johan Hellwig développera, fin du XVIIIe, un jeu nommé « Kriegsspiel », traduit en français par « jeu de guerre ». Il se joue sur un échiquier et combine la stratégie et la réalité des conflits armés. Basé sur différents pions représentant les différentes unités de troupes, il allie surtout ludicité et mathématique.

Les jeux sérieux voient réellement le jour sous l'impulsion de Georg Léopold von Reisswitz en 1812 qui modifiera le Kriegsspiel, de nouveau amélioré en 1824 par Georg Heinrich Rudolf Johann von Reisswitz, son fils. La transformation majeure du jeu réside en l'adaptation de son plateau de jeu qui devient une carte topographique. Sur celle-ci auront lieu des déplacements de pièces représentant les troupes afin d'opérer des simulations et inclure le réalisme militaire de par les lignes de vues (l'horizon) des troupes, les différents tirs possibles et les déplacements. Cela a permis une amélioration des déplacements réels sur le terrain lors de conflits armés. Les cartes topographiques utilisées à l'époque reflétaient le territoire réel. Sur ce dernier ont pu être simulés des ordres, des pertes de troupes et tous les mouvements possibles à imaginer en fonction de l'adversaire. L'armée prussienne adopte ce jeu afin de se former à la tactique mais aussi dans le but d'améliorer la rapidité de la prise de décision de ses officiers.

Le jeu de société a pris une autre ampleur suite à la création du Kriegsspiel et ses améliorations. D'autres jeux de guerre dit « wargames » ont été développés pour répondre à ces mêmes besoins à l'époque.

2.2.2 L'évolution des Jeux sérieux

Depuis le début du 21^e siècle, les jeux sérieux se sont fortement démocratisés dans beaucoup de domaines. Ils sont désormais utilisés dans différents domaines comme l'apprentissage et l'éducation, le développement des connaissances en matière de santé et de médecine ou encore le cadre financier. Par exemple, au Pays-Bas, l'Université de Utrecht a développé un jeu s'appelant « Air-Medic Sky-1 », il comprend des capsules vidéographiques et des biofeedbacks et permettent afin d'utiliser des composantes réelles. Il met en jeu une zone sinistrée dans laquelle un hôpital volant doit intervenir. L'accent est mis sur la gestion des équipes et sur les conditions réelles de stress. Une variété de jeux sont développés dans le domaine de la médecine, notamment pour banaliser et conscientiser certains aspects des traitements comme la prise régulière de médicaments.

Le secteur de la santé est loin d'être le seul concerné par le développement des jeux sérieux. Les domaines de la sensibilisation sociale, de la planification ou encore de l'éducation, possèdent tous des jeux sous différents formats. En effet chaque format comportant des forces et des faiblesses, les créateurs font des choix stratégiques entre le numérique, les jeux de réalité virtuelle ou encore le simple plateau de jeu. Ces différentes approches permettent de répondre à des objectifs dans des domaines distincts, en fonction du public visé (décideurs, étudiants, professionnels, citoyens, ...).

La stratégie reste le meilleur moyen de formation au sein des jeux sérieux, viennent ensuite les jeux de rôle et les principes de la simulation. Dans l'article « Efficacité des jeux éducatifs numériques et de la conception de jeux dans l'apprentissage de STIM : une revue méta-

analytique. IJ STEM Ed 10, 36 (2023), Gui, Y., Cai, Z., Yang, Y. et al. », il est expliqué que les jeux peuvent avoir un effet global positif sur l'apprentissage et être plus compétitif que l'enseignement traditionnel sans jeu. Cela encourage donc le développement de cette forme d'apprentissage.

Les participants qui prennent part aux jeux sérieux se montrent plus performant lorsque des rôles immersifs sont proposés. En effet, le fait de se positionner dans la peau d'un personnage oblige à devoir réfléchir en fonction de ses besoins et ses contraintes, cela permet aux participants de développer des capacités d'adaptation et réfléchir autrement.

Une narration de début de jeu est de plus en plus recommandée afin de poser un contexte à tous les joueurs. De cette façon, ils ne débiteront pas avec des idées reçues ou imaginées et se focaliseront tous dans une seule même direction de pensées. Le récit et les rôles immersifs permettent aux joueurs de développer non seulement leurs émotions mais aussi leur attention, leur mémoire, leur capacité de réponse face à la résolution de problèmes complexes, ainsi que leurs compétences en matière de prise de décisions et de gestion des conséquences. Toutes ces caractéristiques font référence au développement cognitif.

2.2.3 Classification des jeux sérieux, modèle G/P/S

Le modèle G/P/S, qui signifie « Gameplay/Purpose/Scope » est un système de classification des jeux sérieux développé dans les laboratoires IRIT et ESPE de Lille par Djaouti, D., Alvarez, J., et Jessel, J.-P., affilié à l'Université de Toulouse. Il sert de guide afin d'accompagner les créateurs, les formateurs ou le personnel éducatif dans la découverte et la création de jeux sérieux.

La lettre « G » fait référence au Gameplay, autrement dit, aux différentes mécaniques. Elle fait la distinction entre les jeux comprenant des objectifs précis et un règlement défini à l'avance appelé « Game-based » et les jeux ne comportant pas d'objectifs précis mais ayant plutôt une vocation de découverte nommé « Play-based ». Trois objectifs sont distingués dans la variable « P » qui met en lumière le fait que les jeux peuvent être conçus pour réceptionner des données (Data Exchange), mais également avoir un but d'apprentissage pratique (Training) ou encore répandre des informations comme dans le cadre de la sensibilisation. Le S fait référence au public ciblé par le jeu ou au domaine d'application de ce dernier. Il peut être conçu en fonction du domaine tels que l'environnement, la santé ou l'éducation et ne pas avoir de public cible précis. Certains jeux sont quant à eux orientés vers un public ciblé dès la conception. On peut dès lors lier l'utilisation d'un jeu en fonction d'un collectif ou d'un secteur particulier. Cela peut apporter de la clarté dans le choix des jeux à utiliser, lors de l'apprentissage par exemple, mais également permettre de coupler l'éducation et l'information dans un cadre plus ludique. Un point d'attention est à noter envers les jeux possédant plusieurs domaines d'expertises, ils sont plus compliqués à classer.

Cette classification multidimensionnelle permet de catégoriser plus facilement les jeux sérieux afin d'en faire un meilleur usage en fonction des besoins, mais aussi réfléchir à une meilleure conception des jeux.

2.2.4 La motivation

Il ne suffit pas de concevoir et avoir la possibilité d'utiliser des jeux sérieux dans plusieurs domaines afin de transmettre des informations. Il est indispensable que les joueurs soient motivés à l'idée d'y prendre part. Pour s'en assurer, les jeux misent sur les deux types de motivations, seules ou couplées. Les motivations se traduisent soit en motivation intrinsèque, soit extrinsèque.

La motivation est définie par le dictionnaire « Larousse » comme « Raisons, intérêts, éléments qui poussent quelqu'un dans son action ; fait pour quelqu'un d'être motivé à agir. ».

On parlera de motivation intrinsèque lorsque celle-ci survient chez une personne lorsqu'elle réalise une action ou participe à une activité qui est attrayante ou vivifiante. Cette action est un mécanisme naturel chez l'être humain. Il a besoins d'apprendre et d'être challengé par des défis divers. La motivation intrinsèque se caractérise par un lien social, un sentiment de contrôle lié à l'autonomie et des compétences en termes d'efficacité. Le fait de répondre à ces besoins génère chez le participant plusieurs bienfaits mentaux tels qu'une meilleure santé mentale, une meilleure estime de soi et un sentiment de satisfaction. La motivation est liée à l'autodétermination et à des engagements persévérants lors d'activités.

La motivation extrinsèque se base sur le fait d'obtenir ou d'acquérir quelque chose, après avoir réalisé une activité. Cela se marque par le gain de récompenses comme une coupe après un tournoi d'échecs par exemple. Cette forme de motivation doit être encadré car elle pourrait prendre le dessus et faire perdre au jeu son attrait premier et la motivation intrinsèque qui en découlerait. De plus, les éléments tels que les badges, les points, etc., peuvent être sources d'incompréhension envers les objectifs du jeu. Ils peuvent aussi alimenter la tentation de triche et orienter les joueurs vers l'unique but d'obtenir une récompense sans acquérir les connaissances voulues du jeu.

La motivation occupe une place importante dans le développement des jeux, sérieux ou non. L'être humain a besoin d'une source de plaisir, de développer sa sociabilité et son autonomie. Ces éléments sont repris dans la motivation intrinsèque, qui peut être développée seule, à comparer avec la motivation extrinsèque. Cette dernière doit renforcer l'attractivité en étant encadrée pour ne pas dominer la première source de motivation citée. Il est tout à fait envisageable d'utiliser uniquement la motivation intrinsèque. Une approche hybride peut aussi être bien vue. Les facteurs intrinsèques doivent dès lors répondre à des objectifs internes ayant un sens direct pour le développement du jeu. Dans les jeux sérieux, là où sont intégrés des éléments comme des narratifs et la possibilité d'adapter le résultat, l'aspect intrinsèque est accentué.

2.2.5 Les effets de la mobilisation mentale et émotionnelle des jeux sérieux

La mobilisation mentale, ou cognitive, fait référence aux capacités intellectuelles d'un être humain et au fait de pouvoir les exploiter. Cela représente l'attention, les réflexions dans le but de répondre à des problématiques ou encore une réflexion face à celles-ci.

Concernant les émotions, elles peuvent être développées par le joueur à la suite de la mise en contexte du jeu. Cette dernière mobilise directement l'esprit des participants et peut les immerger dans le jeu dès le début. C'est d'ailleurs ce que bon nombre de jeux cherchent à réaliser afin de captiver les joueurs sur la durée. À la suite de l'introduction narrative, la curiosité et le suspense se développent chez les participants.

Un atout majeur est de pouvoir analyser en temps réel la progression et le développement du jeu à l'aide de feedbacks. Dans le cadre de jeux sérieux, un responsable technique, doté des

connaissances nécessaires sur le sujet abordé et qualifié, est souvent présent en tant que maître du jeu afin d'aiguiller les participants et de les aider à opter pour de meilleures solutions dans le but d'obtenir les meilleurs résultats possibles à la fin de la partie. Des explications supplémentaires peuvent être données et la difficulté est ajustable par le responsable en fonction de la qualité de réflexion des participants. L'aspect visuel d'un jeu est essentiel dans le but d'immerger les participants mais seul, l'esthétique de ces éléments ne peut garantir un attrait tout au long de la partie.

2.2.6 Le principe de Co-conception

Un jeu sérieux se construit sur des bases scientifiques dans le but de répondre à des besoins précis. C'est pour cette raison qu'il est important d'inclure le public cible dans la conception du jeu. Le fait d'impliquer les joueurs va permettre de concevoir le jeu en fonction de leurs attentes et de prendre en compte des éléments auxquels le créateur n'aurait pas pensé. Les différents objectifs peuvent être soumis aux destinataires à des fins de consultation et de redéfinition de ceux-ci, ils se rendent utiles en faisant part de leurs expériences du terrain, en évoquant les réels besoins des problématiques étudiées dans le jeu. La consultation auprès des personnes qualifiées et concernées par les enjeux est également importante pour les mécaniques de jeux afin que ces dernières soient cohérentes entre elles.

D'après une étude réalisée sur 58 jeux portant sur l'aspect participatif de la conception des jeux numériques sérieux pour la promotion d'un mode de vie sain (DeSmet et al., 2016), la moitié des jeux sont conçus avec l'aide des futurs utilisateurs qui vont donner leurs avis sur divers thèmes comme la mécanique du jeu, l'évolution du jeu dans le temps, etc. Ce mécanisme permet une meilleure efficacité d'apprentissage lorsque le jeu est délivrable. Les aides concernant des données esthétiques ne provoquent pas d'amélioration et peuvent même avoir un impact négatif.

Pour garantir une bonne utilisation de la co-construction, il est important de combiner les besoins du jeu et les différents éléments pertinents amenés par les acteurs impliqués. Les modifications doivent pouvoir être visibles rapidement afin d'obtenir des retours d'analyses rapides des utilisateurs. Ceux-ci doivent être impliqués dans le domaine pédagogique du jeu afin d'informer sur les besoins puis d'aider à la création.

Lors des études sur les jeux sérieux, la durée d'observation ne dépasse pas les quelques semaines. Les résultats d'apprentissage à moyen et long terme ne sont pas mesurés et il n'est donc pas possible d'assurer une viabilité à long terme de la connaissance. La durabilité est remise en question au vu du fait que l'on ne peut étudier le comportement du joueur à long terme. Dans le cadre d'un jeu qui aurait pour objectif de changer certaines habitudes, il est impossible de savoir si le jeu aura changé les habitudes sur le long terme ou non.

Lors de la co-conception, plusieurs dynamiques d'interaction sont envisageables. En fonction des contraintes, de la population ciblée et des objectifs, une approche pourra être privilégiée. Le choix réside entre ces possibilités : la compétition, la collaboration et la coopétition. La compétition fait se confronter les groupes ou joueurs les uns contre les autres. Les actions ciblées avec cette pratique sont la réactivité des participants, l'auto-évaluation et la motivation mais une vision trop individualiste réduira le partage des informations. La collaboration entre les joueurs va elle, donner un objectif commun à tous les joueurs. Une cohésion va naître, les solutions apparaîtront à la suite du partage d'informations et donc à la coopération. Enfin, la coopétition est une approche hybride utilisant à tour de rôle, la collaboration pour certains objectifs et la compétition pour le reste du jeu (Wang, Huang, 2023).

2.2.7 Conclusion

Les jeux sérieux sont de très bons outils lorsqu'ils sont utilisés correctement en remplissant leurs objectifs d'apprentissage et ciblant le bon public. Les effets à long terme ne sont pas encore assez bien évalués dû à la durée trop brève des études. Il est par ailleurs certain que l'application de jeux sérieux est un réel atout dans la compréhension et la vulgarisation de sujets scientifiques complexes. Ils permettent de trouver une forme de motivation dans le cadre d'une approche d'un sujet sérieux. Peu de comparaisons ont été réalisées entre l'enseignement classique et l'acquisition de connaissances via cette pratique, il est donc difficile de tirer des conclusions quant aux choix d'une pratique au détriment d'une autre. Un point d'attention est à noter concernant la motivation intrinsèque, à privilégier dans le cadre éducatif à la motivation extrinsèque. Bien qu'ils soient en cours de démocratisation, le concept reste tout de même encore récent. Les validations ne sont pas assez nombreuses pour garantir que tous les jeux sont bien conçus, les coûts de déploiements sont parfois encore onéreux et la présence d'un animateur peut être un frein à l'utilisation d'un jeu.

2.3 Les jeux sérieux en lien avec l'environnement

2.3.1 Introduction à la question environnementale

Le domaine de l'environnement est un domaine particulier. Certaines personnes ne s'intéressent pas aux enjeux environnementaux et se retranchent derrière le fait de ne pas être touchées directement par les conséquences de la modification de l'environnement, ce qui conduit dans certains cas à un désengagement volontaire d'après Liobikiené et Simas Poškus dans leur article sur l'importance de la croyance environnementale pour les sphères privées et publiques Comportement pro-environnemental : modifier la théorie valeur-croyance-norme.

Dans la population qui dispose des connaissances nécessaires en la matière, une part préfère ignorer les constats et préserver ses pratiques allant à l'encontre des conclusions (Grunwald, Kara, E. Spillan, 2025). De plus, les informations concernant l'environnement de manière globale sont en général négatives. Il est clair qu'au vu de la situation actuelle de la planète et d'une conséquence mesurable qu'est l'élévation des températures, il est difficile de trouver de la positivité dans tous les domaines d'activité. C'est une des raisons qui rendent l'attractivité de la question environnementale très faible et qui peut entraîner un détachement émotionnel.

Changements de la température de surface globale par rapport à 1850-1900

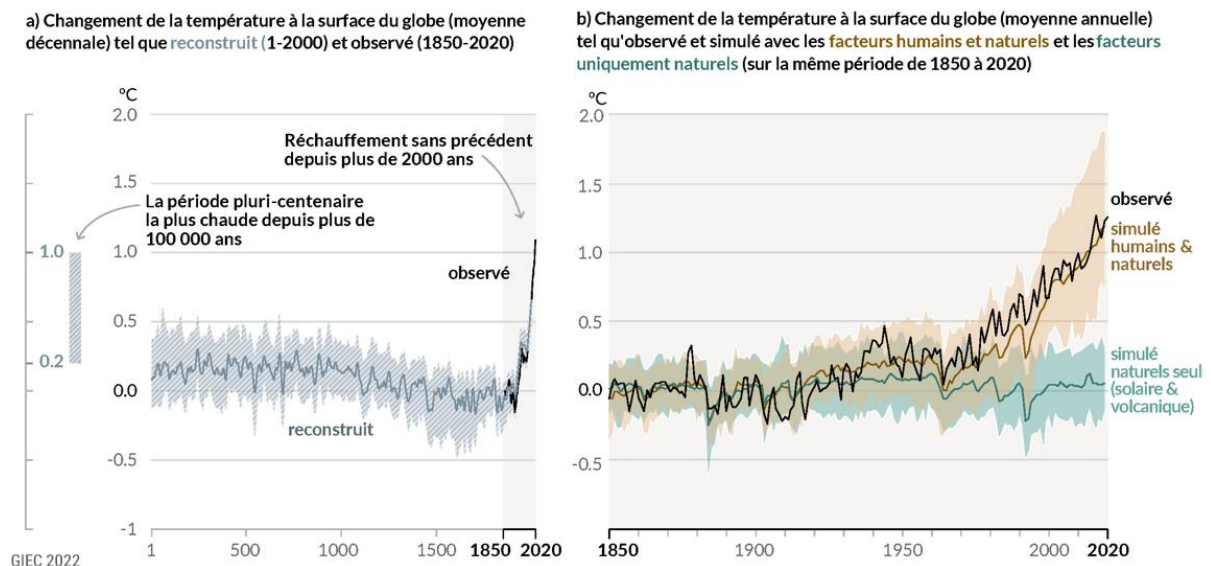


Figure 4: Document 2. Changements de la température de surface globale par rapport à 1850-1900, GIEC, groupe 1, 6e rapport d'évaluation, traduction de Yann Rozier, 2021. Source: geoconfluences.ens-lyon.fr

La politisation des questions relatives à l'environnement engendre une forme de méfiance généralisée envers les discours scientifiques et politiques. Ces derniers perdent en crédibilité et apparaissent parfois comme biaisés (WIRED, Rogers, 2019).

Bon nombre de citoyens réfléchissent en se disant que seules, leurs actions ne sont pas utiles et efficaces, cela représente une pensée commune néfaste, alimente un sentiment d'impuissance qui nuit au développement d'actions mises en place (L.Colombo, G.Chiarella, Lefrançois, Fradin, Raffone, Simione, 2023).

Les dégradations écologiques et la cause climatique ne sont pas toujours observables dans la vie de tous les jours. C'est pour cette raison qu'il est difficile pour certains de quantifier les impacts

de leurs actions à petite échelle, il y a de ce fait une tendance à minimiser les conséquences de certaines habitudes de vie. « La distance psychologique perçue vis-à-vis du changement climatique – qu'elle soit temporelle, spatiale ou sociale – réduit la perception de la gravité et l'urgence, et peut conduire les individus à sous-estimer les conséquences de leurs propres actions. » (Keller et al, 2022, Journal of Environmental Psychology, p. 3).

2.3.2 Jeux sérieux et environnement

Les jeux sérieux sont des outils intéressants lorsque l'on évoque le domaine de l'environnement. Ce domaine est connu pour aborder des sujets complexes qui impliquent souvent un grand nombre d'acteurs, de conséquences et d'interactions. Les problématiques environnementales ne sont pas toujours comprises mais ont l'avantage de pouvoir être représentées par des explications vulgarisées.

Dans le domaine de l'éducation environnementale, le jeu prend de plus en plus d'ampleur. Il permet aux joueurs de se conscientiser face aux enjeux de manière ludique à travers des actions. Le jeu va permettre de transmettre le savoir mais aussi de développer des engagements et des attitudes allant dans le sens de la problématique chez les participants.

Afin de captiver le joueur dès le début du jeu et de réveiller ses émotions, une introduction à ce dernier sous forme de texte narratif sera un atout important. Cela va développer chez les participants, le sentiment d'être concerné par ce qu'il va se passer et attirer leur attention. La découverte du sujet s'accompagne souvent d'un apprentissage cognitif, marqué par des choix personnels et une prise de décisions engagées durant le jeu. La réflexion va également être plus profonde en fonction de l'ancrage et des effets que certaines actions pourraient entraîner durant le jeu. Cela va donc permettre d'acquérir une pensée critique envers des décisions et de cette façon trouver des compromis dans le but de ne pas avoir trop d'impacts.

Les problèmes environnementaux peuvent souvent être en partie résolus par des actions simples du quotidien. L'apprentissage par l'action qui est prôné dans les jeux sérieux peut permettre de développer ce genre de comportement dans le quotidien du joueur. Le fait que les autres joueurs réalisent des actions sous les yeux des autres, peut développer un sens de l'observation et avec celui-ci, la capacité de réaction face aux changements et à la modification de certains éléments.

L'immersion au sein du sujet se fera également par le biais d'un meneur de jeu qui aura la possibilité de donner un avis et une explication directement à la suite d'une action dans le jeu. Les participants seront immergés dans les pratiques et les phénomènes environnementaux ce qui rend l'apprentissage plus actif et productif dans le but de se représenter des situations réelles. L'apprentissage actif passe aussi par l'interaction entre joueurs. La communication et la réflexion est un atout de taille pour les questions environnementales dont les sujets touchent tout un chacun ayant des objectifs différents.

L'environnement est souvent associé au développement durable. Les 3 piliers de celui-ci sont les besoins environnementaux, économique et sociaux (Perreau, Pauchard, Hafiani, 2021). Les jeux sérieux ont l'avantage de pouvoir mettre en avant ces trois domaines à travers des actions, des faits de jeux et par le biais des différents rôles représentant les divers acteurs. Les participants sont alors amenés à développer une vision globale et évaluent les possibilités d'actions dans le jeu. Les interactions entre ces trois domaines permettent d'acquérir une interconnectivité entre ceux-ci et garantissent une validation des résultats du jeu par chaque acteur.

2.3.3 Réflexion autour de la conception d'un jeu sérieux

2.3.3.1 Jeux sérieux et déforestation

Prenons l'exemple de la déforestation. C'est un phénomène bien connu à l'heure actuelle consistant en « ...la conversion de forêts à d'autres utilisations des terres, qu'elles soient d'origine humaine ou naturelle, entraînant une perte à long terme de la couverture forestière et de ses fonctions. » (FAO (2018), Terms and Definitions, FRA 2020, Rome). Cette pratique engendre des phénomènes observables tels que la perte de la biodiversité par la disparition des habitats et donc des espèces animales. Les réseaux écologiques sont fragmentés ce qui nuit aux déplacements des populations. Étant donné la diminution de la surface forestière, l'érosion du sol augmente étant donné que le ruissellement est plus important et qu'une modification localisée du cycle hydrologique est observable (petite ravine, ruisseaux en surface, mare, ...). Ces éléments observables entraînent d'autres dont l'être humain ne se rend pas toujours compte dont un principal qui n'est autre que la diminution de la capacité d'adaptation au phénomène du changement climatique. Il est accompagné par exemple de la modification du cycle du carbone ou encore des pertes dans le domaine social, comme l'identité paysagère, qui sont compliqués à recenser.

A la suite de cet exemple, on peut comprendre toute la complexité de la transmission de ces informations à des populations ne disposant pas de connaissances scientifiques de base. C'est pourquoi, dans ce contexte, les jeux sérieux peuvent intervenir et permettre de vulgariser ces sujets scientifiques.

Pour le cas de la déforestation, un jeu de plateau avec par exemple un appui numérique peut être une bonne solution. Après une narration posant le contexte du jeu, les objectifs de celui-ci seront évoqués. Le but de ce jeu serait d'arriver à trouver des compromis entre différents intervenants qu'ils soient exploitant forestier, défenseur de la cause animale ou encore scientifiques ralliés à la cause environnementale. Pour alimenter les débats, des données telles que des indices de biodiversité, les revenus économiques, les stocks de carbone et l'érosion des sols seront représentés concrètement sur le plateau de jeu ou par divers pions. Afin de voir les effets sur le long terme le jeu pourra simuler que chaque tour correspond à un nombre d'année important comme 3, 5, 8 ou 10 ans (en fonction de ce que l'on veut réellement montrer ou faire prendre conscience), ce qui permettrait de comprendre les effets sur le long terme des actions menées. Il est important dans la conception de ce jeu, de mettre en relation les différentes variables et d'y ajouter les facteurs aléatoires comme les phénomènes météorologiques, les éventuelles inondations et sécheresses et les maladies végétales issues du changement climatique. En fonction des choix des joueurs, les conséquences doivent être diverses et cohérentes entre elles. Le jeu se termine par exemple après un laps de temps défini ou après avoir trouvé un équilibre. Les participants doivent alors s'évaluer et réfléchir à des améliorations ensemble. Un maître du jeu peut alors développer en profondeur certains sujets vulgarisés jusqu'ici. Ce dernier peut aller plus loin dans les explications des interactions et des relations entre les différents acteurs et événements clés.

Cette réflexion de jeu autour de la thématique de la déforestation reprend l'essentiel des concepts théoriques des jeux sérieux.

2.3.3.2 *Avantages conceptuels du jeu sérieux portant la déforestation*

Les bienfaits de ce type de jeu sont multiples. Au début du jeu, une mise en contexte est présente ce qui permet au joueur de se plonger dans le contexte et de développer un attrait pour le thème du jeu.

Le principal atout est sans doute de pouvoir faire remarquer aux joueurs les éléments non visibles qui sont remarquables uniquement sur des temps longs, tels que le changement climatique local ou la modification des cycles carbone. Ces éléments sont perceptibles en peu de temps lors du jeu alors qu'il faut de longues périodes dans la réalité.

Le participant remarquera également les différentes interconnexions et les liens de causes à effets entre les différents éléments comme le fait que la coupe influence l'érosion des sols, ensuite le cycle de l'eau et enfin l'adaptabilité face au changement climatique.

Dans ce jeu, les éléments théoriques sont compris par tous, ce qui permet aux participants de se sentir davantage concerné par le sujet. Le langage scientifique est vulgarisé. Ce dernier peut être développé lors des conclusions finales du jeu.

2.3.4 Bénéfices et limites des jeux sérieux en lien avec la cause environnementale

Du point de vue positif, l'apprentissage par ce biais devient de plus en plus populaire et permet de stimuler des attitudes intéressantes chez les joueurs dans la période qui suit la prise de conscience opérée grâce au jeu. Les participants développent également des comportements favorisant l'écologie selon Tan et Nurul-Asna dans la revue « Serious games for environmental education », 2023.

La force majeure d'un jeu sérieux réside dans sa capacité à s'adapter à son publique. Un même jeu peut contenir plusieurs versions et format, plus ou moins élaborés, en fonction de l'âge des participants. Il en va de même pour l'aspect ludique qui influence les habitudes de vie des participants en créant une forme de plaisir lors du jeu. Le fait d'attribuer un rôle développe le sentiment d'appartenance à un groupe ou une fonction particulière et approprie les connaissances aux participants.

Comme toutes créations, les jeux ont des limites. Elles se font remarquer au niveau de la durée des effets liés à la pratique des jeux. Les évaluations des effets sont positives mais toutes ces études sont réalisées à court terme. Il est donc compliqué d'évaluer les effets et les impacts sur les comportements à long terme. De plus, les personnes se présentant dans le but de jouer sont issues du milieu scolaire ou sont des volontaires. Les populations étudiées ne sont pas diversifiées et souvent déjà impliquées dans la cause environnementale. On ne peut donc pas généraliser les conclusions d'apprentissage à toute la population.

Un juste milieu doit être trouvé entre la vulgarisation scientifique et la surcharge d'informations. Dans le premier cas, le joueur n'aura pas les clés pour comprendre correctement le sujet. Dans la deuxième situation, le sujet sera trop complexe et les participants risqueront de se perdre dans une trop grande quantité d'informations ce qui nuirait au jeu. Par ailleurs, les jeux doivent comporter une bonne représentation visuelle dans le but d'apporter de la crédibilité au jeu. On parlera dans ce cas de réalisme scientifique.

Le rôle qu'un animateur peut avoir dans le cadre des jeux sérieux est essentiel. En plus d'encadrer les participants, cette personne qualifiée va apporter des explications et du savoir important pour l'avancement du jeu. Il permet d'exploiter en profondeur les thématiques et également d'argumenter les choix des participants. Un jeu sans animateur verra sa capacité de transmission de savoirs fortement réduite.

2.3.4.1 Conseils pour la mise en œuvre pédagogique

Dans le domaine de l'environnement, il est essentiel d'impliquer le public qui sera amené à jouer, lors de la conception du jeu. Ce processus favorisera la volonté des participants à jouer et crédibilisera le jeu, tout comme l'expert ayant le rôle de narrateur. Il est conseillé que ce dernier mette également en avant, simultanément au déroulement du jeu, des quiz, des présentations, ... Les apprentissages seront plus construits et prendront plus de sens.

En fonction du contexte et de la faisabilité d'adaptation du jeu, il est intéressant de le modifier en fonction du territoire et de la population concernée.

L'évaluation des jeux doivent également être prises en compte afin de s'assurer qu'ils remplissent bien leurs fonctions d'apprentissage. Des questionnaires peuvent être utilisés avant, après et dans les semaines qui suivent afin d'évaluer les connaissances.

2.3.5 Conclusion des liens entre les jeux sérieux et l'environnement

L'éducation environnementale par ce biais est concluante selon l'article « Serious games for environmental education » de Cédric Tan et Hidayah Nurul-Asna (mars 2023). Lors de la pratique des jeux sérieux, les connaissances en lien avec l'environnement se renforcent, les participants sont souvent sensibilisés et ont tendance à modifier certaines de leurs habitudes de vie au moins sur le moyen terme. Les jeux sérieux sont donc une bonne approche de la connaissance environnementale.

2.4 L'hydrologie et le concept des jeux sérieux

2.4.1 Introduction à l'hydrologie.

L'hydrologie est un domaine de la science qui étudie le cycle de l'eau et estime ses différents flux, regroupant au sens large : la climatologie, l'hydrologie de surface, l'hydrodynamique des milieux non saturés et l'hydrodynamique souterraine (Laborde, 2009).

Dans le cadre des jeux sérieux, l'hydrologie de surface sera la plus rencontrée du fait qu'elle évoque le domaine qualitatif de l'eau et ses aspects quantitatifs plus impactant visuellement sur la société comme le ruissellement.

Le ruissellement est le phénomène que l'on cherche à éviter et à réduire au maximum avec l'utilisation des NBS. Ce qui l'influence le plus est le relief. Plus l'inclinaison du terrain sera importante, plus la vitesse d'écoulement aura un impact considérable sur les parcelles avec par exemple la création de ravines. Un écoulement rapide de l'eau à la surface du sol provoquera un arrachement des sédiments. La vitesse critique à ne pas dépasser est de 0,20m/s (Coufourier et al., 2008, cité dans le Guide technique de l'agroforesterie). Au-delà de cette vitesse, la lame d'eau ne favorise plus la sédimentation des matières en suspension (MES) et engendre ainsi un ruissellement chargé en eau boueuse.

2.4.2 Lien théorique entre l'hydrologie et les jeux sérieux

L'hydrologie est un domaine de l'environnement mobilisant de nombreux acteurs à différentes échelles, ce que permettent les jeux sérieux. La modélisation est un bon outil pour représenter les flux d'eau. Certains types de jeux ont des outils numériques capables de créer des modélisations de ce type permettant aux joueurs de mieux se représenter le contexte. Au niveau de la représentation toujours, les multiples liens savent être mis en avant. En sachant que l'hydrologie comprend de nombreuses interactions, c'est un outil idéal.

La variable temporelle dans ce domaine est un élément important. En effet certaines conséquences de décisions appliquées sur le terrain, sont occasionnellement visibles des années plus tard. C'est pourquoi via ce type d'apprentissage, on peut contracter cette variable et ainsi démontrer des effets à long terme en deux ou trois tours de jeu.

Un jeu, comme son nom l'indique, peut se gagner ou se perdre. En hydrologie, les erreurs peuvent coûter très cher, tant financièrement qu'humainement. Les jeux sont un parfait milieu afin de tester des scénarios complexes et avoir des retours sur expérience. Les incertitudes peuvent être expérimentées et permettent de tirer des conclusions pour orienter des décisions réelles.

Comme déjà cité dans cet état de l'art, la communication entre acteurs de milieux variés est essentielle. Dans le domaine de l'eau, elle est indispensable au vu des conséquences que certains aménagements ou pratiques peuvent avoir sur ce qui se trouve en aval. Une communication sereine doit se tenir entre les protagonistes du territoire tout en leur apportant les outils nécessaires afin d'alimenter les débats sans rentrer dans un discours trop scientifique.

2.4.3 Conclusion des atouts des jeux sérieux pour l'hydrologie

Comme vu dans le cours de Monsieur Joost Wellens sur la Gestion Intégrée des Ressources en eau dans le cadre du master en science et gestion de l'environnement à l'université de Liège, la gestion de l'eau est un domaine extrêmement complexe mobilisant un nombre important d'acteurs. La concertation n'est pas toujours présente du fait de l'existence de certains accaparements et mauvaises gestions hydriques. Le cadre offert par les jeux sérieux offre de véritables avantages dans ce domaine et se voit devenir au fil des années une façon de plus en plus courante d'informer, de sensibiliser et de faire participer le citoyen aux décisions qui y sont liées.

2.5 Recensement de jeux sérieux abordant le domaine de l'hydrologie

2.5.1 Introduction

Afin de concevoir un jeu sérieux pertinent, il est important de prendre connaissance des jeux existants dans le domaine de l'hydrologie et des inondations afin de cibler et limiter les recherches. Cette démarche permet d'identifier les approches et les mécanismes de jeu recherchés pour la mise en œuvre du jeu.

2.5.2 Fresque des inondations

La fresque des inondations est un jeu sérieux et collaboratif conçu dans le but d'instruire le citoyen sur l'adaptation possible du territoire afin de limiter les inondations. Son développement a été mené par l'équipe de la CPDT (Conférence Permanente du Développement Territorial) composée de trois unités de recherche issues de différentes universités (GREAT.UCLouvain, IGEAT.ULB et Lepur.ULiège). L'objectif de ce jeu de société est de mobiliser des outils permettant d'illustrer et de structurer la compréhension des inondations via leurs causes, leurs conséquences et leurs pistes de solutions.



Figure 5: Fresque des inondations, Source : cpdt.wallonie.be

Les citoyens, experts, étudiants ou élus sont tous de potentiels joueurs qui feront évoluer le jeu. Le but est de maximiser les interactions entre joueurs et de co-construire un schéma en fonction des différents enjeux du paysage. Tout comme la fresque du climat, ce jeu favorise la discussion et les échanges entre les différents participants et peut être utilisé dans plusieurs contextes.

Le jeu se déroule en plusieurs phases et s'appuie sur l'utilisation de cartes. Un facilitateur est chargé d'animer la séance.

La première phase est une phase d'appropriation des cartes et d'identification des liens entre les causes et conséquences. Deux catégories d'éléments sont expliquées à travers les cartes.

La première catégorie concerne des événements ou facteurs physiques et environnementaux tels que le cycle de l'eau, le contexte physique (type de sol, bassin versant, le ruissellement, ...), la vulnérabilité et l'urbanisation (imperméabilisation des sols, déforestation et agriculture). Elle comprend également les risques (inondations et coulées de boues) et enfin les nombreux impacts de ces événements ou facteurs.

La deuxième catégorie évoque les pistes de solutions, nommées « stratégie d'actions », au niveau agricole, domestique et hydrologique, tout en ne négligeant pas la sensibilisation.

Le jeu met également à disposition la carte « 0 », expliquant le phénomène de précipitation et d'inondation.

Le déroulement du jeu présente chaque élément un par un, avec des explications précises afin de garantir une bonne compréhension. Après l'explication de chaque élément, le lot de carte doit être positionné sur la fresque en suivant les conseils du facilitateur. Nous poursuivons ainsi pour les premières étapes, jusqu'à ce que les participants fixent les cartes dont ils sont certains du positionnement sur la fresque. Ils y dessinent ou écrivent ensuite les relations entre les éléments.

Par après, interviennent de nouveaux éléments sous forme de cartes qui vont venir enrichir la construction déjà en place de la fresque. Les joueurs discutent tout au long du jeu de ce qui a été mis en place et des éventuelles pistes d'améliorations. A la fin du jeu, une fresque incluant tous les éléments est représentée avec des liens de causalités entre ceux-ci.

L'objectif principal du jeu est d'identifier des solutions réalisables, en fonction du contexte d'inondation pris en compte. Il n'existe donc pas de fresque idéale. Chaque réalisation sera construite en fonction des acteurs présents et du contexte d'inondation représenté. La force de ce jeu réside dans sa capacité à s'adapter à son public et à la situation. Le fait de pouvoir modifier les cartes proposées aux joueurs que ce soit en réduisant ou augmentant le nombre de cartes proposées aux joueurs.

Jusqu'à 2022, la fresque s'est avérée efficace auprès de plus de 400 professionnels qui y ont adhéré dans le but d'informer différents groupes de populations (CPDT,2022, [Explication de déroulé](#), p6).

2.5.3 LittoSIM

LittoSim est décrit comme un outil de simulation participative ayant pour objectif de sensibiliser à la submersion marine.

Le projet est porté par un consortium de recherche mené par Nicolas Becu (UMR LIENSs) et Marion Amalric (UMRCITERES). La simulation permet de représenter numériquement une situation, et y ajouter la dimension participative va permettre d'inclure des décisions extérieures non prévues initialement dans la simulation. Plusieurs versions sont développées pour différents littoraux.

Le thème abordé dans LittoSIM est la prévention contre la submersion marine liée à des événements exceptionnels. Le jeu intègre une simulation, les acteurs du territoire et les actions possibles, afin de visualiser au mieux différents scénarios de gestion.

Durant les ateliers d'expérimentations, un accompagnateur sera maître du jeu afin de simuler les actions de l'Etat et des associations de gestion. Il aiguillera les participants dans leurs choix en imposant certaines contraintes (financières, réglementaires ou incitatives) afin de rendre la situation réaliste et d'engager les participants dans une réflexion proche des conditions réelles.

En pratique, le jeu nécessite des tablettes ou ordinateurs, sur lesquels les participants vont interagir à tour de rôle entre eux. Des discussions entre participants ont lieu avant de choisir les actions à réaliser.

Le jeu simule trois épisodes de submersion, espacés de de 5 ans. Les actions possibles incluent la rénovation ou construction d'aménagements, la modification des plans de réglementations, ou encore la gestion des zones inondables, ...

Le joueur a l'opportunité de réfléchir aux aménagements et actions possible pendant plusieurs tours de jeu avant que le phénomène de submersion réapparaisse sur le jeu.

LittoSim a pour objectif de développer des stratégies d'actions communes sur un territoire défini, en tenant compte des acteurs locaux, et d'expérimenter diverses solutions de gestion du risque de submersion marine.

2.5.4 Cit'In Crise

Cit'In Crise se présente comme un outil de découverte, de compréhension et d'action en passant par le jeu sérieux. Dans ce jeu de simulation, le participant endosse le rôle de gestionnaire principal de la cellule de crise. Il devra prendre les bonnes décisions afin de protéger la population d'une crue survenue dans la ville fictive de « Fassalo » en bordure du Rhône.

Le but de ce jeu est de faire prendre conscience du rôle de chacun lors d'une situation d'urgence, de s'informer des bonnes pratiques à adopter et d'être proactifs pour la communauté.

Deux cellules de crise devront communiquer entre elles afin de gérer une situation critique rapidement. L'une se concentre sur l'aspect narratif, tandis que l'autre se charge de l'aspect décisionnel (politique). L'équipe municipale doit élaborer une stratégie d'anticipation, tandis que l'autre équipe veille à la disponibilité des moyens nécessaires.

Afin de se rapprocher un maximum de la réalité, le jeu intègre des plans, des cartes et des outils de communications. Les mécanismes ludiques inspirés de jeux de société sont également présents, tels que des signaux sonores, des jetons et des talkies-walkies afin de faciliter la communication entre les deux cellules. Un système de représentation des réseaux sociaux reflète les communications entre citoyens.

La communication entre les deux équipes est primordiale. A la fin du jeu, tout le monde se réunit : les acteurs sont à nouveau présentés, les bonnes pratiques sont expliquées et une discussion est ouverte.



Figure 6: LA MALLE PEDAGOGIQUE. Source : citin crise.mines-stetienne.fr

Le jeu a été créé par plusieurs institutions : « MINES Saint-Etienne », « IMT Mines Alès », « LA ROTONDE » et « LES PETITS DÉBROUILLARDS ».

En résumé, le jeu combine une simulation sur plateau, avec des éléments physiques, et une approche numérique, afin d'apprendre et de sensibiliser la population aux réactions à adopter lors d'une situation de crise.

2.5.5 Sim-MANA

Dans le cadre de la découverte du jeu Sim-Mana, une prise de contact avec l'équipe Recover (Risques, Ecosystèmes, Vulnérabilité, Environnement, Résilience) de l'Inrae (Institut National de Recherche pour l'Agriculture, l'Alimentation et l'Environnement) a été réalisée afin d'obtenir des infos complémentaires sur leur jeu sérieux.

Sim-Mana est un jeu sérieux de sensibilisation basé sur une approche environnementale incluant les SFN (Solutions Fondées sur la Nature) ou NBS (Natural Based Solution). L'objectif est de réellement sensibiliser et d'amener à une prise de conscience quant au fait que les solutions fondées sur la nature peuvent être une solution contre les inondations. Le public visé est à la fois le grand public mais aussi les élus et les acteurs spécifiques du terrain.

A l'aide d'un outil de simulation projetant en temps réel les résultats sur une maquette 3D, la visualisation et modélisation d'une inondation devient très réaliste pour les joueurs. Le territoire représenté, que nous appelons "La VITA", est urbain et comprend divers éléments, tels qu'un zoning industriel, une rivière, des quartiers d'habitations, etc. La simulation va nous amener à essayer de protéger la ville d'une inondation.



Figure 7: capture d'écran de la vidéo "Découvrez les secrets des SFN grâce à un jeu sérieux", la maquette du jeu Sim-MANA. Source : youtube.com/watch?v=8WdoZB6_06w

Les participants se voient attribuer des rôles d'acteurs particuliers. Lors de chaque tour de jeu, les participants élaborent par groupe des plans de protections en tenant compte de certains indicateurs. Une partie ne peut pas suffire à comprendre tout le fonctionnement et la panelle de possibilité. C'est pour cette raison que Les concepteurs insistent sur l'aspect rejouable du jeu. Le but de Sim-MANA est de construire un plan d'aménagement efficace et adéquat. Une version web simplifiée est disponible en ligne et permet d'avoir un avant-goût du jeu réel. Cette dernière comprend un contexte géographique (description des reliefs, infrastructure, hydrologique, social, ...) et un contexte de précipitations, annonçant la venue d'une période de précipitation importante. Ensuite, différentes propositions de choix stratégiques seront présentées sous forme de carte (Statu Quo, Ubra, Dignes, Infiltration, Protection amovible, Retrait, Sensi, Nature en ville, Bassin Noue). Pour chaque choix, les joueurs ont droit à une explication de la fonction, une vision d'évolution de la carte, une explication des conséquences et un bilan des bâtiments inondés, des blessés, des voitures endommagées et des infrastructures endommagées. Un curseur est positionné sur quatre aspects définis : l'environnement, le social, la gestion des risques et l'économie.

L'équipe de l'INRAE travaille également sur la conception d'un jeu de société nommé RIVERO, en cours de développement et basé sur le jeu « Sim-Mana », sera conçu pour 1 à 5 joueurs, mais pourra accueillir jusqu'à 15 joueurs en groupe. Les deux jeux partagent les mêmes ambitions de compréhension et de stratégie autour des SFN (Solutions Fondées sur la Nature).

Le fonctionnement sera toutefois différent : chaque groupe ou joueur disposera d'un plateau sur lequel il pourra choisir ses aménagements. Par la suite, ces plateaux seront rassemblés pour former un bassin unique, permettant de comprendre les impacts amont-aval.

2.5.6 Mission inondation

Mission Inondation est un jeu mobile qui veut profiter de la facilité de l'utilisation des appareils électroniques mobiles. Une majeure partie de la population y a accès, c'est pourquoi une application téléchargeable sur smartphone ou sur tablette représente une manière de toucher un public large.

Le jeu simule une inondation dans un futur proche, juillet 2025. Disponible depuis avril 2022, le jeu simule une période non lointaine afin d'alerter sur le fait qu'une inondation peut intervenir dans un futur proche.

Le déroulement du jeu consiste à contrôler les actions d'un enfant qui doit se préparer lui, sa famille, ses animaux et sa maison à subir une inondation. Sa maison est en zone inondable mais elle est équipée pour faire face aux intempéries.



Figure 8: Alex a de l'eau jusqu'aux bottes, son sac d'évacuation sur le dos, prête à quitter son domicile. Source : irma-grenoble.com

Dans un premier temps, il s'agira de prévention, c'est-à-dire de limiter les risques liés à une inondation en anticipant la montée des eaux. L'enfant devra notamment préparer un sac d'évacuation et se mettre en sécurité.



Figure 9: Extrait de la mission 2-8 « Naviguer dans les rues inondées en esquivant les pièges ». Source : irma-grenoble.com

L'application est d'autant plus utile pour les habitants de la région concernée par l'Entente Oise-Aisne, qui ont accès à un plan de protection avec des subventions pour protéger leurs habitations. Si le citoyen est éligible à la prise en charge, il peut obtenir une subvention à hauteur de 80% pour réaliser des travaux. Cela permet de limiter les dommages en cas d'inondations. Un technicien viendra alors observer les points sensibles de l'habitation. Si les participants ont joué au jeu mobile, ils seront déjà informés des dispositifs potentiels pouvant être mis en place chez eux.

Ce jeu évoque le risque de la montée des eaux, à travers une sensibilisation simple pour faire face à une inondation. Il est relativement court et accessible, tout en synthétisant l'ensemble des éléments essentiels à considérer

2.5.7 Crue & d'eau

Ce jeu a été conçu dans le but de sensibiliser et de faire acquérir certaines compétences aux enfants entre 7 et 12 ans sur la thématique des inondations. Il se présente comme un jeu de plateau de type « de l'oie », où les enfants doivent avancer et descendre case par case le lit de la rivière, tout en répondant à diverses questions. Celles-ci portent sur la connaissance des inondations, des principes d'une rivière ou encore sur la protection d'une ville ou habitation, sur les alertes et la gestion de crise.



Figure 10: Plateau du jeu "Crue et d'eau". Source : oise-aisne.net

En pratique, les enfants vont commencer à jouer au milieu du plateau, après avoir répondu à une question de compétence de la catégorie de leur choix. Ils lancent alors un dé et vont dans la direction souhaitée. Au tour suivant, les joueurs devront répondre à une question correspondant à la couleur de la case sur laquelle ils se sont arrêtés. Il faut avoir atteint les 4 zones pour gagner le jeu. D'autres cartes spéciales mettent par exemple en avant la solidarité ou le risque.

La réalisation du jeu revient à l'Entente Oise-Aisne qui a publié le jeu en 2017. C'est un établissement public territorial de bassin, actif dans le domaine de la réduction du risque

d'inondation. Le jeu de base « Crue&d'eau – Jette-toi à l'eau et réponds aux questions ! » est réalisé pour le bassin de la Verse. L'EPTB Seine Grands Lacs a voulu adapter le jeu, en accord avec l'Entente, au bassin de la Seine et aura comme nom « Crue&d'eau – Serez-vous prêt pour la prochaine inondation ? ».

Crue&d'eau semble être un bon outil afin d'aider les plus jeunes à développer des connaissances ainsi qu'une prise de conscience tout en s'amusant.

2.5.8 Consiliari

Consiliari est un jeu sérieux sous forme de plateau, portant sur la gestion d'une inondation à travers la prise de décision pour un territoire donné. Il découle de la création de la mission du Référent Départemental Inondation (RDI), instaurée dans le cadre des Directions Départementales des Territoires et de la Mer (DDT(M)).

À la suite de cette mission, une animation nationale a été mise en place, dont découle une animation régionale — notre jeu sérieux. Le choix s'est donc porté sur ce format ludique pour sensibiliser et former.

Le jeu se déroule à l'aide d'un plateau représentant un territoire fictif lié à la mission du Référent Départemental Inondation (RDI) et un second plateau illustre la chronologie du jeu c'est-à-dire l'enchaînement des différentes étapes.

Le but du jeu est de soutenir le Gouverneur en lui fournissant des conseils pertinents pour la gestion de crise. Les bons conseils rapportent des points mais il faut aussi veiller à ne pas perdre de points « équipe », qui symbolisent la cohésion et la capacité collective du groupe.

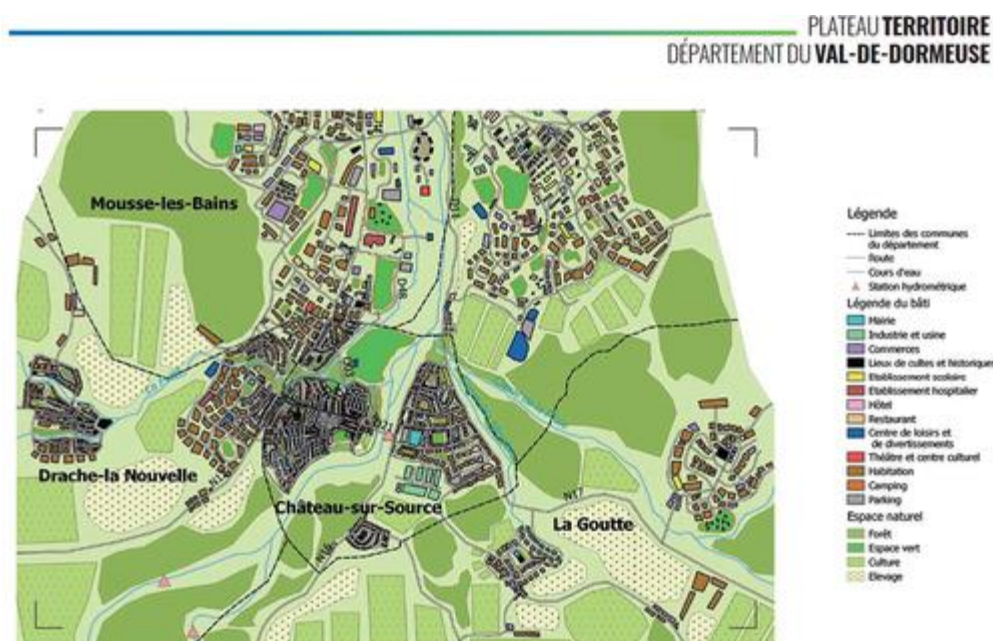


Figure 11: "Figure 2. Visuel du plateau de jeu « territoire »". Source: tandfonline.com

Plusieurs phases de jeu se succéderont durant la partie. Tout d'abord, la découverte du bulletin météo informera sur la situation climatique. Ensuite, il y aura un passage dans la salle des ressources où les participants choisiront les éléments essentiels à mobiliser en cas de crise. Par après, la salle du conseil accueillera les participants afin de prendre des décisions stratégiques. Enfin, un débriefing final permettra de faire le point sur les choix effectués.

Le jeu met en lumière la notion de fatigue des gestionnaires lors d'une crise. En effet, si les

participants perdent tous leurs jetons « équipe », qui représentent l'énergie et la capacité de travail collective, ils perdent la partie. Pour éviter cela, une personne peut choisir de ne pas intervenir lors d'un tour et passer son tour en restant dans la salle de repos, ce qui permet de récupérer de l'énergie. A travers ce mécanisme de perte de points, les concepteurs ont voulu insister sur le fait que la fatigue peut altérer la qualité des décisions. Ils soulignent aussi que tous les acteurs ne sont pas indispensables à chaque tour, à condition que l'équipe comprenne bien leurs rôles et dispose d'une documentation claire sur leurs enjeux.

2.6 Grille d'analyse des jeux sérieux :

Lors de l'étude des jeux sérieux existants portant sur le domaine de l'hydrologie, et plus particulièrement les inondations, il a paru judicieux de les comparer en fonction de critères importants pour la conception du futur jeu basé sur le bassin versant de la Vesdre.

Critères théorique	Fresque des Inondations	LittoSIM	Cit'in Crise	SIM-MANA	Mission INONDATION	Crue&d'eau	Consiliari
Thématique principale abordée	Compréhension globale	Aménagement du littoral et submersion marines	Gestion d'une inondation à l'échelle communale	NBS ou SFN	Réflexes en cas d'inondations	Compréhension des crues et inondation, prévention individuelle	Prise de décision de gestion d'une crise
Approche systémique	10/10	8/10	7/10	8/10	3/10	5/10	8/10
Feedback immédiat sur les choix	7/10	9/10	8/10	9/10	9/10	6/10	8/10
Interaction entre joueurs	9/10	9/10	10/10	8/10	0/10	5/10	8/10
Utilité en concertation territoriale	6/10	9/10	7/10	9/10	3/10	5/10	6/10
Utilité en sensibilisation	9/10	7/10	8/10	9/10	9/10	7/10	7/10
Public cible	Toute la population, professionnels.	Techniciens, Élu, Décideurs	Toute la population	Chercheurs, instances territoriales, techniciens	Grand public, adolescents, enfants	+7ans, cadre familial ou scolaire	Instances de gestions et agents publics
Facilité de prise en main	7/10	4/10 (besoin accompagnement)	8/10	5/10 (simulation guidée)	10/10	9/10	7/10
Principales limites identifiées	Dépendance à l'animation.	Les données SIG, le matériel	Matériel imposant, 3 animateurs	Nécessite un animateur	Peu d'interaction entre les joueurs	Contenu vulgarisé, pas d'aspect technique	Le public restreint, besoin d'un maitre du jeu
Adaptabilité à un territoire local	6/10	7/10	6/10	2/10	2/10	6/10	5/10

Figure 12: Tableau comparatif par concept des différents jeux sérieux en lien avec l'hydrologie. Source : Jaumain Emilien, création personnelle.

L'objectif de ce tableau comparatif vise à évaluer et comparer des jeux sérieux. Les jeux inspirants seront ceux dont la gestion des inondations par l'intégration de solutions est une priorité, tout comme le fait d'avoir une utilité pour la concertation territoriale. Les différents critères repris lors de l'analyse sont réfléchis en fonction de l'état de l'art et des enjeux du bassin versant de la Vesdre. Voici une liste exhaustive des points d'attention repris dans le tableau ainsi que leur justification.

- Un point sur la thématique afin de repositionner le contexte du jeu sérieux.
- L'importance d'obtenir des retours sur les actions menées pendant le jeu est analysé via un point « Feedback immédiat sur les choix »
- Les interactions entre les joueurs sont importantes lors d'un jeu dans un but de consultation publique.
- Un jugement sur l'utilité du jeu en tant qu'élément de sensibilisation.

- Afin de s'inspirer d'éventuels jeu, il est importance de prendre connaissance du public ciblé par ce dernier.
- Le jeu a pour but d'informer et de sensibiliser, des règles trop complexes entraveront la compréhension des joueurs. La complexité du jeu est alors un élément clé.
- Identifier les limites du jeu permet de ne pas s'inspirer de jeux ne remplissant pas les objectifs désirés.
- Le but du futur jeu étant de s'adapter à divers territoires, il est important d'identifier l'adaptabilité de ceux-ci.

À la suite de l'analyse de ce tableau, les jeux se rapprochant le plus des objectifs voulu sont LittoSIM pour ses atouts en concertations et adaptabilités, SIM-MANA pour son attrait envers les solutions fondées sur la nature et enfin, la Fresque des Inondations pour sa vision globale et sa sensibilisation.

Critères techniques	Fresque des Inondations	LittoSIM	Cit'in Crise	SIM-MANA	Mission INONDATION	Crue&d'eau	Consiliari
Format du jeu	Plateau avec cartes : collaboratif	Simulation SIG interactive	Jeu de rôle immersif	Simulation 3D	Application mobile	Jeu de société éducatif	Jeu de plateau
Durée moyenne	2h30-3h	2-3h	2h	1h30-2h	20-30'	30-45'	1h30-2h
Nombre idéal de participants	5-8 groupes	10-30p	+/- 12p	6 à 12	1p	1-6p	4 à 8p
Technologie requise	/ (papier, cartes, stylos)	Logiciel et donnée SIG	Plateau + Smartphone + PC	Ordinateur et projecteur	Appareil mobile	/ (jeu physique)	/ (jeu physique)
Support numérique interactif	Non	Oui	Oui	Oui	Oui	Non	Non

Figure 13: Tableau comparatif technique des différents jeux sérieux en lien avec l'hydrologie. Source : Jaumain Emilien, création personnelle.

Ce tableau reprenant des critères techniques permet de porter attention au format, à la durée, au nombre de participants et au support de jeu.

Il permet d'identifier les jeux sérieux dont le temps de partie est suffisant afin de développer la réflexion. Certains jeux ont une dépendance aux outils numériques, que l'on ne recherche pas dans notre jeu. Le nombre de participants est également un critère important.

Les jeux sortant du lot sont la fresque des inondations et Consiliari. Ils ne demandent pas de support lourd et ont un temps de jeu convenable.

Le croisement de ces deux analyses fait ressortir plusieurs jeux pouvant inspirer lors du développement du jeu sérieux. LittoSIM, SIM-MANA, la fresque des inondations et Consiliari sont les quatre jeux sortant du lot. La combinaison de leurs points forts tels que l'adaptabilité, l'attrait pour les NBS et le format permettront d'assembler une mécanique de jeu et une logique de concertation pour la création du jeu sérieux.

Concernant les cotations, celles-ci ont été attribuées sur une échelle de 10. Cette échelle a été choisie étant donné sa popularité, sa représentativité et son utilisation courante dans un grand nombre de domaines. L'attribution des cotes s'est faite de manière indépendante jeu par jeu en tenant compte du fait qu'une note de 0 à 2 correspond à une interprétation générale très faible, de 3 à 4 elle est faible, 5 et 6 sont des valeurs moyennes, 7 et 8 correspondent à la mention « bien » et enfin 9 et 10 représente la mention « très bien ». Une échelle sur 10 est intéressante lors d'une

analyse poussée car elle permet des variations dans les mentions contrairement à une échelle comprenant 5 valeurs.

2.7 Conclusion de l'état de l'art portant sur les jeux sérieux

D'un point de vue général, les jeux sérieux possèdent de nombreux avantages. Ils sont développés dans le cadre de diverses problématiques, au détriment d'exposés ou de séances théoriques.

Contrairement aux jeux ludiques, leur but est de faire réagir, former et sensibiliser un public visé dans un cadre défini. Cela permet de stimuler les participants tout en gardant un aspect ludique face aux divers défis de compréhension des sujets abordés.

La diversité des acteurs pouvant se tenir autour de la table est une force pour les jeux sérieux, qui ont pour but de permettre à chaque partie d'exprimer ses propres objectifs tout en prenant connaissance de ceux des autres. Cela mènera à des discussions et des débats.

Les jeux sérieux apparaissent de plus en plus comme des processus décisionnels qualitatifs en matière de consultation publique. Leur popularité augmente au fil des années, étant donné leurs aspects attrayants via divers sentiments tels que l'appartenance à une fonction et l'indépendance de la prise de décision, tout en gardant un aspect ludique et un apprentissage garanti.

2.8 Solutions fondées sur la nature prises en compte dans la conception du jeu sérieux

2.8.1 Introduction

Dans le cadre du projet ModRec2, des territoires d'innovation hydrologique ont été sélectionnés. Ils représentent de petits bassins versants de quelques kilomètres carrés au sein même du bassin versant de la Vesdre. Trois territoires ont été désignés : l'un à caractère forestier et deux plus ruraux, comprenant principalement des prairies. L'objectif est d'améliorer la capacité du sol à infiltrer l'eau et, de cette façon, de réduire le ruissellement à l'aide d'aménagements durables sur le long terme.

Un plan d'aménagement est en cours de réalisation afin d'être présenté aux acteurs locaux, tant aux propriétaires qu'aux instances communales. L'objectif est de parvenir à convaincre l'ensemble des parties prenantes d'adhérer au plan et de réorganiser le territoire. Celui-ci vise à incorporer des aménagements naturels dans une optique de développement durable. Les solutions fondées sur la nature se sont naturellement imposées comme des outils essentiels dans le cadre de ce projet.

Lors d'une séance d'information intitulée « Solutions fondées sur la nature : concept, opportunités et défis », le 27 octobre 2017 au Parlement européen, Didier Bourguignon définit les solutions fondées sur la nature comme : « ... des actions inspirées, soutenues ou copiées de la nature, qui visent à aider les sociétés à relever une variété de défis environnementaux, sociaux et économiques de manière durable. ».

Dans le contexte du bassin versant de la Vesdre et des Inondations de 2021, les solutions fondées sur la nature doivent aider la population de la vallée à faire face à une éventuelle nouvelle crue de manière durable, en atténuant les dommages économiques qui y sont liés.

Depuis les années 2000, l'étude de ces concepts se démocratise et les chercheurs explorent de plus en plus de pistes. Les SFN sont décrites comme ayant de multiples bénéfices face au changement climatique.

2.8.2 Référentiel de l'Union internationale pour la conservation de la nature

L'Union internationale pour la conservation de la nature (IUCN) a développé un référentiel mondial afin d'aider toute personne souhaitant utiliser des SFN, que ce soit pour leur mise en place ou pour évaluer leurs impacts. Créée en 1948, cette organisation est devenue le réseau le plus étendu et complet en matière d'organisation et d'experts dans le domaine de l'environnement. Elle se présente comme neutre et permet à divers acteurs, aux objectifs divergents, de collaborer et de mettre en place des projets communs intégrant les objectifs de chacun. Selon l'IUCN, les aménagements naturels doivent atténuer les dangers liés aux changements climatiques à long terme.

Dans le cas des NBS, l'IUCN a développé une norme qu'elle décrit comme : « La norme mondiale est un outil multidimensionnel et polyvalent destiné aux utilisateurs aux niveaux local, national et mondial. » Cette norme, qui contient huit critères, a pour ambition de guider quiconque

souhaite appliquer ces pratiques et les déployer correctement, grâce à un cadre d'apprentissage accessible librement et permettant d'améliorer leur efficacité.

Le premier critère stipule que les NBS doivent répondre à une problématique sociétale telle que la sécurité hydraulique ou la réduction d'un risque lié au changement climatique.

Le deuxième point évoque la dimension dont l'aménagement doit tenir compte, afin de s'adapter à l'environnement avoisinant.

Au troisième point, l'IUCN mentionne que les NBS doivent avoir un effet positif sur l'écosystème et l'environnement alentour. En effet, selon le type d'aménagement, le développement de la biodiversité dans les alentours peut être favorisé.

Le quatrième point aborde l'aspect économique en précisant que la SFN doit être rentable dans le temps et offrir un retour sur investissement. Il est préférable qu'une étude coût-efficacité soit réalisée en marge du projet afin de s'assurer que les avantages sont pris en compte, mais surtout les coûts indirects, tels que l'entretien, pour vérifier la rentabilité du projet.

La concertation et l'implication des différents acteurs sont mises en avant au cinquième point. Les SFN doivent être réfléchies et mises en place en co-création avec les parties prenantes disposant de droits et de statuts juridiques spécifiques liés à leurs terrains.

Le sixième critère traite de la possibilité que les NBS puissent nuire à long terme aux écosystèmes. Il encourage à réaliser une analyse coût-bénéfice-risque avant de concevoir l'aménagement.

L'incertitude est abordée au septième point. Il est important que des solutions d'adaptation soient prévues face aux diverses incertitudes, ainsi que de considérer que l'environnement peut lui-même s'adapter aux changements et que l'aménagement en tire parti.

Enfin, le point 8 évoque le fait de prendre en compte ces pratiques dans les politiques territoriales afin de rester au centre des préoccupations et des décisions. Il apparaît clairement que ces huit critères constituent des conditions indispensables au développement efficace et durable des solutions fondées sur la nature.

2.8.3 Défis et arbitrages environnementaux

La conception et la mise en place de ces dispositifs restent néanmoins un défi. En effet, des lacunes subsistent quant à la connaissance des spécificités de certains aménagements, nécessitant encore un approfondissement. Nous pourrions évoquer ici l'exemple de la haie pouvant se présenter sous une multitude de formats (hauteur et largeur de coupe, type d'essences d'arbres, combinaison avec un autre aménagement, etc). Néanmoins, les connaissances sont de plus en plus complètes.

Lors de projets environnementaux, la gestion des arbitrages (entre enjeux économiques, sociaux et environnementaux) est importante. La plupart du temps, les gestionnaires de projets sont confrontés à des dilemmes entre choisir un aménagement naturel (appelée aussi « solution verte »), comme garantir le fait qu'un lieu reste une zone inondable ou bien opter pour une solution dite « grise » qui peut impliquer la création d'un projet plus radical comme un barrage. L'important est d'évaluer les compromis et de comprendre quels peuvent être les bénéfices écologiques pour la société par rapport aux bénéfices économiques.

Afin d'analyser ces aspects, plusieurs méthodes peuvent être envisagées, comme dans le cadre de ModRec où la participation citoyenne joue un rôle important dans l'intégration des habitants au projet. Leur connaissance du terrain est précieuse pour les chargés de projet, qui peuvent ainsi bénéficier d'informations souvent absentes des documents officiels ou des cartes

d'aménagement. Cela permet également d'identifier d'éventuelles tensions entre différents acteurs, notamment lorsque des aménagements communs concernent des parcelles voisines.

2.8.4 Les différents aménagements

En concertation avec le Contrat de Rivière de la Vesdre, les chargés de projet de ModRec 2 ont établi une liste d'aménagements. La principale motivation est de limiter les coûts environnementaux liés au ruissellement de l'eau lors d'épisodes pluvieux et orageux exceptionnels tels que celui survenu en 2021 provoquant des inondations et des dégâts importants en fond de vallées.

2.8.4.1 Haie

Une haie est considérée comme « un linéaire de végétation ligneuse, implantée à plat, sur talus ou dans un creux, ... », « Ce linéaire peut être composé d'arbres et/ou d'arbustes et est associé ou non à un ourlet de plante herbacée. » (FNE Centre-Val de Loire, 2023, p.1).



Figure 14: Image de l'article : Une véritable haie d'honneur pour elle à Ath, Lessines et ailleurs. "La haie a un aspect esthétique. Mais surtout, elle remplit des missions agri-environnementales importantes. ©L'Avenir - F.H." Source: lavenir.net

Les haies présentent une importante capacité d'infiltration grâce à leurs zones racinaires, qui sont plus profondes que celles de la végétation herbacée, présente par exemple en prairie ou dans les bandes enherbées. Le maillage racinaire des haies est beaucoup plus développé, ce qui permet d'obtenir un sol plus aéré et donc une capacité d'infiltration élevée. Une étude de l'AREAS (Association Recherche-Éducation-Action pour le Sol et l'Agroforesterie Sociale) (Ouvry J.-F. et al., 2012) a mesuré cette capacité d'infiltration au pied d'une haie, estimée à 400 l/m²/h, avec une variation d'environ 100 l/m²/h. La réduction du volume de ruissellement est comprise entre 30 et 60 % par rapport à une zone sans haie.

Concernant les dimensions, plus la densité de la haie au niveau du sol est élevée, c'est-à-dire avec un grand nombre d'arbustes plantés, plus ses capacités d'infiltration seront importantes. La présence d'une bande d'herbes en aval du dispositif est recommandée car elle permet au système d'être deux fois plus efficace. En ralentissant la lame d'eau, cette dernière peut s'infiltrer plus facilement.

Lorsqu'un aménagement de ce type est installé, il est fortement déconseillé d'opérer un labourage proche du dispositif. En effet, les raies de labour entre la parcelle et le dispositif seraient contre-productives.

Il existe une différence non négligeable entre une haie, qui est un ensemble d'arbustes, et un alignement d'arbres. Effectivement, les arbres permettent également de ralentir l'eau mais n'auront pas autant d'efficacité qu'une haie en termes de lutte contre le ruissellement. L'avantage que peuvent avoir les arbres vient du fait qu'ils vont capter une partie plus importante de l'eau issue des intempéries au niveau de leurs feuilles et branches. Cette eau sera transmise directement au sol via ses racines avec un retard de 10 à 20 minutes (Guindeau B., 2016, cité dans le Guide technique de l'agroforesterie). Avec une haie, la porosité du sol peut augmenter de 50 % grâce aux racines des arbustes qui se comportent comme des chemins préférentiels pour l'écoulement de l'eau (Charlier S., 2018, cité dans le Guide technique de l'agroforesterie). Elles font accroître la quantité de matière organique et la faune dans le sol. Ce dernier devient donc plus aéré et perméable.

Le type de haie conseillée comme NBS dans le cadre du projet ModRec2 est la haie dense avec des espèces qui drageonnent. Afin d'obtenir une densité au pied et de créer une barrière efficace pour ralentir l'eau, il est conseillé de concevoir la haie en 2 ou 3 bandes. Dans le cas d'une haie en 2 bandes, un écart de 33cm entre les bandes et 33 cm entre les pieds est recommandé. Pour une haie à 3 bandes, l'espace conseillé est de 50cm entre les bandes et 33cm entre les pieds d'arbustes également. La densité représente environ 60 tiges/m², dont chacune fait environ 2cm de diamètre. En fonction de la pente, en sortie de haies, l'eau s'écoule à une vitesse comprise entre 0,12m/s et 0,55m/s en fonction de la pente allant de 3 % à 15 % d'inclinaison. Réduire la pente en amont de la haie va rendre l'aménagement plus efficace à la suite d'une vitesse d'écoulement réduite.

Les SFN intégrant de petits arbustes ou arbres exercent également un effet brise-vent qui permet de protéger la biodiversité et les cultures situées derrière l'aménagement. Dans le cas de parcelles cultivées, il se peut que le rendement soit réduit en bordure et sur quelques mètres perpendiculairement au dispositif. Néanmoins, le rendement global de la parcelle tend à augmenter grâce aux bénéfices apportés par ces aménagements.

Les haies peuvent être implantées à différents endroits stratégiques du bassin versant. En raison de leurs multiples fonctions, elles peuvent être positionnées partout dans le bassin versant, que cela soit sur les crêtes pour créer un effet brise vent, en bordure de parcelles pour la biodiversité, en bordure de cours d'eau pour protéger les berges de l'érosion et à de multiples localisations perpendiculairement à l'axe de ruissellement pour freiner celui-ci. Il est fréquent que des aménagements suivent les courbes de niveaux. De plus, les haies peuvent servir de protection mécanique pour les bâtiments lors d'intempéries.

La taille des haies concernées par les NBS sera inférieure à trois mètres. Pour ce faire, un entretien une à deux fois par an sera effectué. Elles se nomment « haies basses taillées ». Celles qui seront disposées à l'abord des limites de deux propriétés doivent, sur base légale de l'article 35 du Code rural, ne pas être plus proche de deux mètres (pour les arbres hautes-tiges) de la limite du terrain.

La plantation n'est pas onéreuse. Pour l'implantation d'une haie dans une parcelle ou prairie, le décompactage du sol sur cinquante centimètres est recommandé plusieurs mois avant la plantation. La terre peut être labourée et émiétée avant la plantation de la haie qui doit se faire lorsque la végétation est à l'arrêt durant la fin de l'automne ou la fin de l'hiver. Ensuite, vient un piquetage afin de planter en suivant un tracé souhaité.

Concernant l'entretien, il est envisageable d'entretenir une haie avec différents outils. Le sécateur d'élagage et l'épareuse à marteaux sont les outils les plus recommandés. Durant les cinq premières années, il est indispensable de contrôler la haie plusieurs fois par an afin de vérifier que des mauvaises herbes n'envahissent pas le bas de la haie. Ensuite, une simple coupe annuelle suffit à l'entretien. D'après la Chambre Régionale d'agriculture de Normandie, le coût annuel par an au kilomètre - pour un entretien annuel avec une épareuse, serait de 152 euros par kilomètre.

Des aides sont mises en place par différents organismes dans le but d'encourager ces plantations. Les particuliers, les agriculteurs et les gestionnaires sont éligibles pour porter des projets et seront soutenus par le DNF (Département de la Nature et des Forêts) selon certaines conditions, telles que le respect d'un délai (fournir la demande 30 jours avant la plantation), ainsi que la garantie que l'entretien sera effectué pendant une période de 30 ans. Il existe également des aides de la Politique Agricole Commune (PAC), qui ne concernent que les agriculteurs.

2.8.4.2 Fascine-Haie

Les fascines-haies sont une association de deux aménagements compatibles. Séparément, ils sont performants mais présentent des limites. Dans certains cas, il est envisageable de les associer afin d'augmenter leurs capacités de filtration des particules en suspension dans l'eau, d'infiltration de l'eau dans le sol et de rétention de l'eau en surface. La combinaison des deux NBS accentue ces facteurs et les rend plus performants.



Figure 15: "Fascine morte + Haie". Source: syndicat-sage-nonette.fr

Une fascine est un dispositif de type « barrière », plantée en partie dans le sol. Son rôle est de ralentir le ruissellement en sortie de dispositif. La réduction du ruissellement se chiffre à plus de 60 % par rapport à un milieu sans aménagement. Les fascines peuvent être également utilisées pour retenir les boues issues des zones cultivées.

Le dispositif de fascine seul peut infiltrer entre 35 et 360mm/h. Il comprend un ancrage dans le sol composé de piquets de bois mort ou de bois vivant. Une fascine avec du bois mort ne va

survivre qu'entre 2 à 4 ans. Une fascine vivante perdurera plus dans le temps et aura une durée de vie comprise entre 5 et 7 ans grâce à l'ancrage des piquets dans le sol via leurs racines. Entre deux rangées de piquet, un ensemble de branchage ou de paille y est entassé afin de rendre l'aménagement presque imperméable.

Lors de la conception de fascine, une tranchée doit être réalisée sur 15 à 30cm de profondeur et



Figure 16: Lutte contre l'érosion des sols. Construction d'une fascine dans un champ de blé afin d'éviter les coulées de boues sur la route Menos de S. Leitenberger. Sourc: stock.adobe.com

15 à 30cm de largeur. Après avoir enfoncé les piquets de part et d'autre, un premier fagot est placé dans la tranchée, légèrement en dépassement du niveau du sol. Une couche de terre est ensuite appliquée à hauteur du sol, recouvrant partiellement ce premier fagot. Un second fagot vient compléter l'aménagement sur le dessus, jusqu'à atteindre une hauteur d'environ 50cm.

Il est recommandé d'utiliser des piquets de 1,5 m de longueur, dont 50cm seront enfoncés dans le sol, le reste restant hors sol. Les pieux peuvent être positionnés en quinconce (espacement de 1 à 1,5 m) ou en vis-à-vis (espacement conseillé de 0,8 m). La disposition en quinconce permet d'économiser du bois, tandis qu'une disposition en vis-à-vis ne doit pas dépasser 30 m de longueur afin d'assurer la stabilité de l'ouvrage.

Cet aménagement (combinaison fascines-haies) constitue un frein hydraulique puissant, composé en amont d'une fascine, qui présente l'avantage d'être directement opérationnelle, contrairement à la haie, dont l'efficacité n'est pas immédiate. C'est pourquoi il est recommandé d'installer une fascine en amont d'une haie dans les zones sensibles. La haie mettra en effet au moins un an avant que son système racinaire ne soit suffisamment développé pour assurer une absorption optimale de l'eau.

Il est toutefois possible de planter une haie constituée d'arbustes déjà dotés d'un système racinaire bien développé, afin d'obtenir un aménagement performant plus rapidement. Ce double dispositif s'avère particulièrement efficace lorsque de l'herbe est présente en amont et en aval et que l'aménagement atteint une largeur minimale de 3 mètres.

Dans le cadre du projet ModRec, les NBS sont destinées à être implantées sur des prairies. Elles seront donc d'autant plus efficaces que si elles étaient positionnées sur des parcelles de cultures agricoles.

Les fascines doivent être contrôlées régulièrement afin de s'assurer qu'elles ne comportent pas de brèches, surtout dans les premiers mois et après les épisodes pluvieux. Les brèches créent des courts-circuits qui concentrent le ruissellement et peuvent entraîner la création d'une ravine en aval.

Pour les fascines vivantes, lorsque les repousses deviennent trop importantes, il est nécessaire de les couper. Replanter les repousses dans le fagot de la fascine directement est conseillé pour améliorer sa structure. Cela va renforcer la longévité de la fascine si les repousses s'enracinent au pied du dispositif.

L'inconvénient principal des fascines réside dans le dépôt de terre en amont qu'elles peuvent engendrer. C'est plus souvent le cas lorsque la SFN est disposée en bordure de champ, un simple travail du sol par l'agriculteur est alors suffisant. Si le dépôt devient trop important, la fascine peut être rehaussée. Dans le cas de prairie, les dépôts seront moins importants.

Le coût d'une fascine réalisée par une entreprise serait compris entre 60 et 80 euros HTVA du mètre pour une fascine vivante et 55 à 75 euros HTVA pour une fascine morte selon la fiche « Fascine » réalisée par la Chambre d'agriculture de la Seine-Maritime et de l'Eure.

Les fascines-haies peuvent être positionnées à de nombreux endroits. À l'échelle d'un petit bassin versant, il est recommandé d'installer la NBS dès le haut de ce dernier, dans le but de maintenir une vitesse lente de l'écoulement. Ils sont aussi très efficaces en amont et donc protègent d'autres aménagements tels que des ZIT mais aussi d'infrastructures routières ou de zones d'habitations. Il est fréquent d'en installer entre deux parcelles d'autant plus entre une prairie et une parcelle cultivée.

Dans ce cas de SFN, la haie présentera la même apparence que lorsqu'elle est mise en place seule. La haie basse taillée sera privilégiée. L'entretien doit également être correctement assuré afin de garantir l'efficacité de la fascine.

2.8.4.3 Mare comme espace tampon

Pour cet aménagement, plusieurs appellations pouvaient convenir. Afin que chacun comprenne les éléments auxquels le projet ModRec 2 fait référence, il a été décidé de nommer cet aménagement « mare utilisée comme espace tampon ». Les mares sont considérées comme des zones d'immersion temporaires contenant toujours un fond d'eau. L'eau de ruissellement provenant des parcelles situées en amont s'écoule directement vers la mare.

Les noues sont des aménagements plus longitudinaux qui s'apparentent plus à un fossé. Elles sont sèches et ne contiennent l'eau qu'en cas de pluie importante. Elles sont souvent placées le long d'un axe routier ou le long d'une série d'habitations vulnérables. Elles peuvent aussi se situer au centre d'un îlot d'habitations.

Ces SFN sont des zones de rétention et d'évacuation d'eau pouvant jouer un rôle clé en fond de prairie ou de champ. Leur efficacité de réduction de ruissellement est comprise entre 15 et 80 % en fonction des différentes propriétés et sont influencées par leur positionnement. En effet, il est impératif de les placer le long d'un axe de ruissellement de l'eau, dans la vallée ou le sous-bassin versant.

Les mares utilisées comme espace tampon sont composées de 2 niveaux distincts. Le premier, au fond de la mare est une zone où l'eau est constamment présente appelée « Mare permanente ». Ce niveau se distingue pour son attrait écologique et environnemental. En effet, toute une biodiversité peut s'y développer. Que ce soit en tant que point d'eau pour les mammifères ou bien en tant qu'espace de vie pour les batraciens, amphibiens ou encore la faune, la mare offre un espace de vie adéquat pour une population qui voit de plus en plus ses zones d'habitats disparaître.

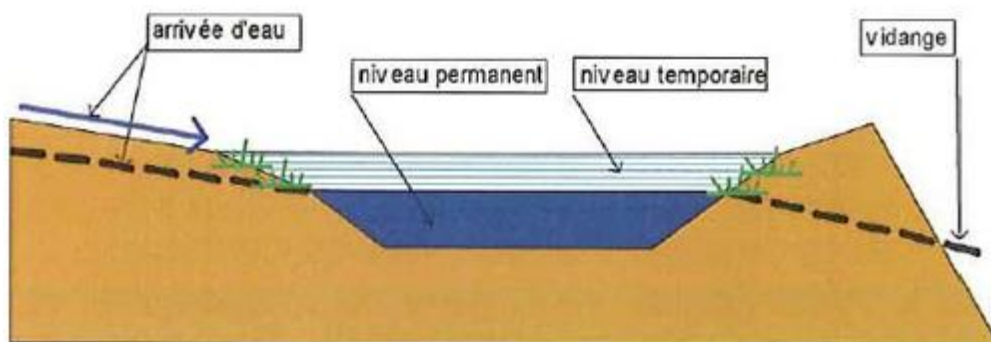


Figure 17: La mare. Source: sbvsvs.fr

La mare permanente est surplombée par un niveau supérieur. Lorsque le dénivelé est important, celui-ci est délimité par le terrain lui-même en amont et par une digue du côté aval. La hauteur de l'espace tampon doit se situer entre 0,5m et 1m en fonction de la superficie de la mare.

Lors de la conception d'une mare utilisée comme espace tampon, deux solutions sont envisageables.

Premièrement, si la topographie le permet, la création d'une mare en déblais est conseillée. Cette technique consiste à utiliser le dénivelé du terrain et d'y creuser une mare. Le lieu idéal peut se présenter comme une zone de replat du versant, à l'exutoire d'un fossé ou d'un creux. Elle aura moins d'impact paysager étant donné le fait qu'il n'y a pas de création de digue. La terre issue de la conception de la mare peut être placée sur le versant aval de la mare afin de réduire

l'inclinaison du terrain. Le surplus d'eau qui pourrait survenir à la suite de fortes précipitations, dans une mare en déblais, serait alors évacué par débordement naturel de l'eau. Elle surmontera le pourtour de la mare pour ensuite ruisseler vers la parcelle en aval puis éventuellement rejoindre d'autres dispositifs comme un fossé, une fascine-haie ou encore une noue. Le fait de réduire la pente en sortie de mare accentue le taux d'infiltration de l'eau dans le sol par suite de la diminution de la vitesse.

Deuxièmement, dans le cas où le terrain ne permet pas une mare en déblais, la mare en remblais sera utilisée. Contrairement à une mare en déblais, une digue sera construite sur tout le pourtour. La terre issue de la création du fond de la mare sera utilisée à ces fins.

Lors d'un épisode pluvieux, l'eau va remplir l'ouvrage. Afin d'éviter des débordements contre-productifs à l'utilisation de cette SFN et d'assurer une évacuation de l'eau, un dispositif permettant au surplus d'eau de s'évacuer doit être installé. Il sera désigné comme ouvrage de fuite. Ce dernier évacue l'eau via une canalisation, grillagée à son entrée afin de ne pas s'obstruer, vers l'aval. Sans cet ouvrage, la NBS ne se viderait pas et ne remplirait plus sa fonction de zone tampon. La conception d'une zone appelée surverse est indispensable. La mare pourrait, à la suite du débordement, s'autodégrader à cause de la perte rapide du volume d'eau qu'elle contient. La zone doit être capable d'absorber une partie de l'eau et de rediriger le reste du flux vers une zone adéquate tel qu'un fossé ou une autre zone tampon en aval. Sans cet aménagement la NBS ne garantit pas sa durabilité dans le temps et ses fonctions de régulation.

La capacité de rétention d'eau des mares dépend de la taille à la conception. Il est conseillé d'opter pour une forme de bassin à bords courbés ou en arrondis afin de ne pas dénaturer le paysage.

L'entretien d'une mare se fait de manière préventive en amont de celle-ci en aménageant une bande enherbée afin d'engendrer une sédimentation des particules issues du ruissellement. L'aménagement se prête donc bien à être installé en prairie. La présence d'une haie ou fascine-haie en amont de la mare permettra une meilleure sédimentation. La mare reçoit encore moins de particules et donc ralentit l'envasement du fond de celle-ci. Il est important de vérifier que l'exutoire de la mare ne soit pas obstrué, de la même façon que les arrivées soient bien dégagées.

Lors de l'entretien des bords de la mare, le ramassage des résidus de fauche est encouragé afin d'éviter leur propagation dans l'eau et ne pas nuire à l'évacuation de l'eau. Si l'envasement devient trop important et se rapproche de l'ouvrage de fuite, il sera nécessaire d'opérer un curage. Ce dernier doit être fait en plusieurs fois afin de ne pas déstabiliser l'écosystème.

De simples outils de coupe sont suffisants à l'entretien. Pour la conception, des engins plus conséquents (pelleteuse, tracteur) seront nécessaires. Selon la Chambre de l'agriculture Seine-Maritime Eure, le coût moyen d'une mare serait aux alentours de 9 à 13 euros/m³ HTVA de capacité d'eau contenue. Le prix peut diminuer en fonction de la topographie et de la morphologie du sol.

2.8.4.4 Fossé à redents

Le fossé à redents se caractérise par un creux continu le long d'une zone vulnérable telles que des habitations, une infrastructure routière ou autre. Il est conçu dans le but de collecter les eaux pluviales des parcelles en amont et de cette façon, protéger l'aval.

Un fossé est un dispositif d'apparence simple qui peut avoir un inconvénient majeur : la vitesse d'écoulement de l'eau. C'est pourquoi, l'ajout de redents est une bonne solution pour pallier la vitesse de l'eau pour des pentes allant de 3 % et 20 %.



Figure 18: exemple de fossé à redent : Source : Vicus urba, Gestion de l'hydraulique du vignoble et DIG

Un redent est un petit dispositif placé dans le fossé qui agit comme un barrage. Il se compose d'éléments perméables permettant de retenir l'eau tout en garantissant un écoulement constant. Les matériaux employés afin de concevoir ces redents peuvent être composés de pierres ou de paille.



Figure 19: Un fossé à redents sera aménagé. Source : lavenir.net

Les redents peuvent également être conçus sur base d'un élément central en béton auquel vient s'ajouter de la terre sur les extrémités (voir figure ...). Cet aménagement peut être considéré comme une solution hybride du fait qu'elle contienne un élément d'ingénierie. Néanmoins, elle garde toujours ses fonctions bénéfiques pour la société et reste durable à long terme.

Dans le fond des redents, un orifice sera dégagé et permettra un écoulement constant de l'eau. Dès que celui-ci devient trop important, le surplus d'eau sera freiné par le redent. Le dispositif ne sera jamais érigé jusqu'au sommet des berges du fossé. En cas de débordement de l'eau dans un des compartiments, elle sera évacuée vers l'aval du fossé dans le compartiment suivant et ne débordera pas à l'extérieur de l'aménagement.

Les redents sont espacés selon la hauteur du redent précédent afin qu'en cas de surverse, l'eau se déverse uniquement dans l'espace qui suit et ne déferle pas dans tout le fossé. Le fossé peut prendre une forme trapézoïdale ou parabolique. La forme parabolique ne sera pas adaptée si le sens de l'écoulement est perpendiculaire au fossé. En fonction de la surface ruisselante en amont du fossé, la forme parabolique sera applicable uniquement dans le sens l'écoulement. Elle peut aussi être mise en place lorsque le fossé est de biais par rapport au sens de l'écoulement, que le terrain en amont a une superficie de plus de 10 ha et que le fossé a une pente de plus de 3 %. Un bord surélevé sera nécessaire côté aval afin que l'eau ne déborde pas du fossé. Pour des plus petites surfaces (<10ha) dont le fossé est de biais par rapport au sens de l'écoulement, le même dispositif devra être installé si la pente du fossé est inférieure à 3 %.

Pour les fossés de forme trapézoïdale, un bord surélevé est nécessaire lorsque le ruissellement est perpendiculaire. Pour les cas où la pente du fossé est supérieure à 3 %, ses dispositifs ralentisseurs comme des redents doivent être installés pour éviter une vitesse d'écoulement trop rapide.

Les fossés à redents ont également un atout en termes d'épuration. Étant donné l'augmentation du temps de séjour de l'eau entre les redents, les éléments polluants comme des contaminants issus de l'agriculture, vont se dégrader biologiquement ou vont être absorbés dans les sols. Cependant ce n'est pas l'aménagement qui accueille le mieux la biodiversité. Ce n'est qu'un lieu de passage pour l'eau.

L'entretien des abords du fossé est important. Si les abords sont herbeux, la tonte doit s'opérer 2 à 3 fois par an afin de garantir son efficacité.

Pour la construction d'un fossé, un permis d'urbanisme est indispensable. Le CoDT estime qu'une « modification sensible du relief du sol » (Article R.IV.4-3 du CoDT, partie réglementaire) est réalisée et doit alors se voir accorder un permis d'urbanisme.

Selon Triple Performance, le coût d'installation d'un fossé à redents est compris entre 15 euros et 82 euros HTVA du mètre linéaire. La variation de prix s'explique par le type de rendement. Le coût lié à l'entretien est lui estimé à 0,76 euros/ mètre.

2.8.4.5 Fossé- Talus -Haie

La NBS suivante se définit comme une structure bocagère. Elle combine en amont un fossé, suivis directement d'un talus sur lequel est plantée une haie. Le fossé peut être à redent ou non. Il joue un rôle de capteur d'eau, issue du ruissellement des parcelles en amont. L'eau sera ensuite drainée vers l'aval du bassin tout en s'infiltrant en partie dans le talus. Ce dernier est composé, grâce aux racines de la haie, d'une terre avec des propriétés plus absorbantes notamment en ce qui concerne la porosité et la stabilité du talus. Ce dernier est souvent composé des terres du fossé qui a été creusé. Son coût est donc faible à la conception dans ce cas de NBS. De plus, les terres du fossé ne doivent pas être dégagées.

La SFN permet de favoriser l'infiltration de l'eau et de capter une partie des sédiments. Le but premier est de ralentir ce ruissellement et de le diriger vers des parcelles moins vulnérables. L'eau peut être redirigée vers une rivière ou vers d'autres aménagements. La haie aura en plus de son rôle d'infiltration, un objectif de structure du paysage.



Figure 20: Photo Fossé Talus Haie. Source : dervenn.com

L'aménagement est reconnu par l'INRAE comme un « dispositif tampon épurateur » (INRAE – Onema (2016). Diagnostic et gestion des réseaux de fossés agricole infiltrants pour limiter la contamination par les pesticides).

D'un point de vue biologique, ce dispositif permet de développer des corridors écologiques pour les petits mammifères. Les oiseaux et les insectes y trouvent un lieu de vie tout comme le microfaune du sol.

La SFN reprend les caractéristiques des haies et des fossés et les combine avec un talus afin d'obtenir de meilleurs résultats. Cet aménagement sera installé plus souvent entre des parcelles ou en bordure de zone sensible tels que des zones d'habitations.

2.8.4.6 Keyline

Le concept des Keyline Design est né de Percival Alfred Yeomans (1905 – 1984), ingénieur minier australien qui s'est orienté vers de domaine de l'hydrologie dans l'agriculture après avoir hérité de grandes superficies de terres cultivables. Le but était d'améliorer les équipements et les méthodes de cultures. Son invention la plus connue est la keyline.

Une keyline se présente comme une méthode dont le but est de collecter l'eau issue des précipitations, de la recueillir et la stocker pour la redistribuer afin qu'elle s'infilte uniformément sur l'ensemble du territoire cultivé. La redistribution se fait à l'aide de points clés (Keypoint), défini en étudiant la topographie du terrain ainsi que ses caractéristiques hydrologiques. Une fois les keypoints identifiés, des lignes clé (keylines) sont tracées en reliant les points. Pour définir les points clé, les courbes topographiques sont analysées et sont désignées là où le terrain passe de convexe à concave ou inversement. Les points sont ensuite reliés afin d'obtenir ces Keylines. Il est préférable de tracer les keylines sur des terrains ou prairies vierges, par après, l'ajout d'arbre, de bétails, de cultures y est encouragé.



Figure 21: Exemple de Keyline Design. Rancho San Ricardo, Mexico. Source : paysages-fertiles.fr

Le principe est de suivre les lignes clés avec un labour spécifique tel que la fissuration, qui ne retourne pas la terre mais ne fait que l'aérer. Une charrue spécifique intervient, dit « Yeomans » du nom de son inventeur. La structure du sol va seulement être ameubli par de faibles rainures.

L'association de plusieurs dispositifs est également une possibilité sur les keylines. Le plus souvent, un fossé suivi d'un talus sur lequel est positionné une haie sera mis en place et plus efficace qu'un labour spécifique.

Le ruissellement va être ralenti par les petites dépressions. Ce système va favoriser l'infiltration de l'eau et en découle de multiples bénéfices. En s'infiltrant plus facilement et rapidement, l'eau va être redistribuée latéralement, perpendiculairement à l'axe de ruissellement. Cela va également recharger plus rapidement les nappes phréatiques. Le système keyline se base aussi sur le fait d'obtenir des stockages temporaires aux keypoints, qui peuvent servir pour irriguer les terres par gravité en cas de besoin. Le taux de réduction de ruissellement pour ce système est compris entre 8 et 12 %.

La qualité de l'eau en sortie de bassin sera meilleure à la suite du transfert qu'elle fera dans les couches inférieures du sol avant de rejoindre le cours d'eau. La structure du sol sera améliorée et la biomasse racinaire ainsi que la matière organique présente dans le sol sera stimulée, le stockage du carbone sera renforcé.

La création de keylines nécessite une charrue spécifique « charrue de Yeomans » et peut coûter entre 4000 et 18 000 euros d'occasion, selon le modèle et le nombre de ripper. En région wallonne il n'existe pas encore de donnée quantifiable pour indiquer le prix mais tout indique que cet aménagement est coûteux.

En Australie, le mètre de keyline coûte 1euros. À cela s'ajoute le prix des retenues d'eau (9 à 13 euros/m³ HTVA pour une mare). Cette SFN peut s'avérer onéreuse mais cela engendre des économies d'eau et donc d'argent sur le long terme.

L'entretien demande de la surveillance après les épisodes pluvieux intenses aux niveaux des mares, vérifier les trop pleins d'eau et les éventuelles perturbations dans les dérivations. Il se peut qu'un travail du sol soit nécessaire tous les 3 à 5 ans.

2.8.4.7 Fissuration

La fissuration est une technique de travail du sol en agriculture qui se veut non destructrice de la structure du sol. La terre est ouverte en profondeur qui peut, selon les engins utilisés, aller à une profondeur maximale comprise entre 25 et 70cm.. Le coût des machines, en fonction de leurs tailles et leurs spécificités, est compris entre 700 euros et 2 800 euros pour les modèles plus petits à 3 ou 5 dents, nécessaires dans le cadre de la fissuration pour la création de keyline par exemple. Il existe de plus gros modèle utilisé en agriculture plus intensive dont les prix peuvent grimper aux alentours des 50 000 euros en fonction des spécificités.



Figure 22: Fissuration du sol. Source : ridgedalepermaculture.com

Lorsque le sol est travaillé de manière durable, une amélioration de la rétention en eau dans le sol est notable. Si la structure des agrégats n'est pas cassée, le sol augmente encore sa capacité d'infiltration. Le travail simplifié du sol lui garantit une meilleure résistance à l'érosion. À la suite d'un labour, la terre se retrouve exposée aux conditions climatiques. De plus, le poids des machines agricoles accentue le phénomène de tassement. L'arrachement des particules de sols à cause du vent ou de la pluie est inévitable. La technique de fissuration permet de garder un couvert végétal et une zone racinaire qui vont empêcher ses arrachements. Le tassement sera également réduit par le passage moins fréquent des machines sur le terrain. Les sols tassés sont les plus opportuns à être fissurés.

Les différentes couches du sol ne vont pas être mélangées et tassées. Cette technique permet, à l'inverse, de conserver la structure des couches du sol.

Les apports de matière organique vont aussi jouer un rôle clé dans l'enrichissement de la terre et ses propriétés physiques. La matière organique sera assimilable plus rapidement par les racines des plantes depuis les interstices laissés par le labour.



Figure 23: "Notre charrue 6SB importée d'Australie 2013". Source : ridgedalepermaculture.com

Les bénéfices de cette technique sont l'adaptation aux changements climatiques caractérisés par une meilleure gestion de l'eau. L'eau sera plus facilement acheminée vers les couches plus profondes du sol et ainsi augmenter la résilience de ce dernier face aux sécheresses. Cette pratique réduit les risques de colmatages de surface et de création de nappes temporaires qui verraient le jour après une averse.

2.8.4.8 Redessin parcellaire :

Le redessin ou remembrement parcellaire est un outil de l'aménagement du territoire au niveau rural qui permet de restructurer le territoire en le rendant plus cohérent et efficient. L'opération foncière va permettre de faciliter les pratiques agricoles (de culture ou d'élevage) en rassemblant des petites parcelles d'un même propriétaire, en un ou plusieurs territoires plus grands et cohérents en fonction de la pratique. Dans le cadre du projet ModRec2, le but n'est pas uniquement mais de créer des parcelles de plus grande superficie mais d'avoir plus de facilité lors de la mise en place d'aménagements dans celle-ci. Pour ce faire, deux méthodes sont envisageables.

Premièrement, des propriétaires fonciers vont réaliser des échanges de parcelles de surfaces équivalentes. On parlera dans ce cas de redistribution foncière. Les échanges ne coûtent rien aux propriétaires et sont basés sur les unités de surface.

Dans un autre cas, les échanges seront équivalents en termes de valeur mais pas en termes de surface. Tous les terrains n'ont pas la même valeur à surface équivalente, cela varie en fonction de la composition du sol, de son utilisation, des pratiques mises en place sur ce dernier et de sa localisation.

Ces échanges ont permis aux agriculteurs de cultiver de manière plus efficace et plus simplement dans leurs parcelles, plus grandes. Les rendements agricoles ont augmenté et les coûts de production ont diminué tout cela grâce à la réduction de la fragmentation.

Le réaménagement parcellaire est encadré par des professionnels comme la DAFOR (direction de l'aménagement foncier rural), branche du SPW Agriculture (Service Public de Wallonie) via le code wallon de l'agriculture. Le CAF (Comité d'Aménagement Foncier) jouera un rôle de superviseur et sera chargée de valider le projet. Une instance publique devra le proposer lors d'une concertation citoyenne, aux public concernés tels que les exploitants ou les propriétaires. Une fois les conditions acceptées, le gouvernement wallon doit accepter le projet.



Figure 24: Paysage bocager, « Des parcelles plus petites et plus diversifiées favorisent la diversité des plantes jusqu'au centre des champs ». Source: inrae.fr

Le Système intégré de gestion et de contrôle (SIGEC) est un outil géographique de référencement informatisé. Il permet de suivre l'évolution et de contrôler l'éligibilité des parcelles agricoles. Il légitime également la gestion des aides de la politique agricole commune. Toutes modifications spatiales concernant le foncier agricole seront enregistrées dans cet outil en Wallonie, à l'aide d'une plateforme développée par le SPW : « PAC-on-Web ». Il interagit avec la DAFOR, le SPW Agriculture et les agents de terrain. L'outil est également utilisé dans le cadre des NBS dans le cas où elles sont utilisées par un agriculteur. Des « écorégimes » (aides décernées aux agriculteurs adoptant ces pratiques) sont décernés à l'aide de ces outils et remplacent les paiements verts depuis 2023.

En Wallonie, il s'est opéré depuis les années 1949 avec un remembrement volontaire et une application limitée qui se transformera en remembrement légal à partir de 1956 avec un usage exclusivement agricole axé sur la productivité. Les années 1970 seront les années clés dans la modification du territoire étant donné les différents règlements mis en vigueur. À partir de 2002, les questions environnementales seront abordées par des études d'incidence sur les impacts du remembrement sur l'environnement.

La réattribution des terres joue un rôle hydrologique important. Selon l'étude sur l'effet du remembrement agricole sur le ruissellement et l'érosion (Xanthoulis & Ledent, 1998, p. 39), le réaménagement du territoire entraîne une augmentation du ruissellement dans les parcelles du fait qu'elles soient de plus en plus homogènes. Il provoque une augmentation de l'érosion des sols et du débit des rivières en aval. En regroupant des parcelles et créant des surfaces plus importantes, le ruissellement n'est plus ralenti par le paysage bocager, les haies inter-parcellaires et les différents éléments présents pouvant ralentir l'écoulement. Certaines haies ont été détruites, le paysage s'est ouvert et a entraîné une augmentation des risques d'inondations, de ruissellement et de sédimentation. Les nappes phréatiques sont moins rechargées et tout le cycle local de l'eau de l'eau est impacté.

Le remembrement en lui-même engendre des aménagements tels que des fossés drainants. À la suite des vitesses d'écoulement en augmentation, il a été indispensable de créer un réseau de fossés dans le but d'évacuer l'eau des crues plus locales mais plus intenses. Les routes ont aussi été repensées et réalisées pour permettre aux agriculteurs de rejoindre leurs parcelles.

Dans le cadre de la création et la mise en place de SFN, le fait de réduire le nombre de propriétaires dans une même zone, permet de concevoir des aménagements qui seront acceptés

plus facilement étant donné le nombre restreint de propriétaires. Il est plus simple de concevoir un aménagement dans une même parcelle que lorsque plusieurs parcelles sont concernées.

Le redessin parcellaire permet de réaménager les espaces et le paysage en y incluant des SFN pour lutter contre le ruissellement de l'eau, restaurer la biodiversité et limiter l'érosion hydrique et éolienne. Ce dernier peut aider à positionner directement dans le paysage, des aménagements comme les haies, les fossés ou les mares. La planification spatiale des différents NBS est rendue plus simple et réduira considérablement le ruissellement. Le remembrement a eu pour action de réduire ou supprimer un grand nombre de zone tampon, de mare ou de petite dépression. Le redessin parcellaire va permettre de combler ses lacunes hydrologiques en repensant le territoire et en y incluant de nouveau des zones d'immersion temporaire, des mares, des bandes enherbées et d'autres SFN permettant le stockage temporaire et l'infiltration de l'eau.

Le coût de cette pratique étant difficilement estimable étant donné les différents travaux possibles et les différences entre les projets. Une estimation, sur base des données du SPW Agriculture, des données généralisées pour l'Europe et des informations venant de la DAFOR, le coût pourrait être compris entre 5 000 et 20 000 euros par hectare si les projets comprennent la création de routes, fossés ou autres aménagements. Néanmoins, d'autres études démontrent un coût plus faible entre 300 et 400 euros par hectare (Vitikainen, 2004 ; FAO, 2018). Ces montants sont souvent pris en charge, ou en partie, par les pouvoirs publics.

2.8.5 Conclusion NBS

Les solutions fondées sur la nature sont des aménagements naturels qui de nos jours deviennent indispensables au bon fonctionnement hydrologique d'un bassin versant à risques. Elles peuvent être implantées en plusieurs lieux stratégiques selon des plans d'aménagements. Chaque solution offre des avantages et inconvénients différents, il est donc intéressant de les combiner au sein d'un même bassin versant afin de tirer au maximum l'efficacité commune qui peut en résulter.

3 Conception d'un jeu sérieux abordant la thématique du ruissellement pour le bassin versant de la Vesdre – Phase expérimentale

3.1 Cahier des charges théorique

Dans le cadre du projet ModRec2, le réaménagement du territoire est un enjeu majeur dans le but de réduire le ruissellement des eaux de surface dans l'ensemble du bassin versant de la Vesdre. Un petit bassin versant en haut de plateau a été désigné comme pilote afin d'expérimenter un aménagement durable. La réalisation de ce projet implique une participation active des acteurs locaux ayant une emprise sur le territoire.

Il est crucial que le plan d'aménagement qui sera proposé en fin de projet, soit accepté par tous les propriétaires et exploitants interagissant sur ce territoire d'innovation. Il est inconcevable d'imposer un plan préétabli sans l'accord, les avis et les remarques des citoyens. La concertation publique doit être au centre des préoccupations. Elle va permettre de consulter, d'informer, de sensibiliser, d'apporter de nouvelles idées et de convaincre les citoyens afin d'aboutir à un plan d'aménagement accepté par tous pour le territoire d'innovation. C'est dans ce cadre que la création d'un jeu sérieux entre en jeu afin d'immerger les participants dans la thématique, de leur permettre d'expérimenter des scénarios et d'en tirer des conclusions après des échanges et des réflexions communes.

Lors d'un entretien (24/03/2025), Frank Taillandier (Recover, INRAE) créateur du jeu sérieux « Sim-Mana », a pu partager son expérience et ses conseils ont permis d'orienter la conception du jeu. Sim-Mana modélise une inondation sur un territoire théorique et est basé sur les solutions fondées sur la nature. Les points d'attention retenus concernent la vulgarisation, l'attribution de rôles spécifiques, l'aspect multicritères et l'alternance entre les phases de réflexions et les phases d'actions. Concernant les solutions, il conseille de ne pas donner trop de détails techniques lors de leur apparition sur le plateau de jeu. Selon lui, dans notre cas, l'accent doit être mis sur la localisation des projets et non pas une multitude de choix d'aménagements différents. Il peut être intéressant de développer des possibilités irréalisables afin de démontrer les effets négatifs.

3.1.1 Principes directeurs

Les principes suivants sont les éléments clés dans la conception du jeu. Ils représentent la ligne directrice et accompagnent son développement.

3.1.1.1 *Vulgariser*

Les dynamiques hydrologiques de ruissellement, d'infiltration et de saturation des sols pourront être abordées tout au long du jeu. Ces dynamiques seront plus facilement comprises par les participants, tout comme les solutions fondées sur la nature et leurs enjeux. Ces concepts et principes scientifiques ne sont pas toujours compris par le grand public. C'est pourquoi, le jeu sérieux aura pour mission de vulgariser les informations présentes afin de les faire comprendre à un maximum de personnes.

3.1.1.2 Sensibiliser - Valoriser

La transmission des informations hydrologiques doit être un moteur afin de sensibiliser les participants aux enjeux que peuvent représenter les éléments développés. Un point d'attention particulier doit être accordé aux solutions fondées sur la nature. Ces aménagements sont au centre du projet. Dès lors, il est impératif que les caractéristiques hydrologiques et techniques, tant au niveau des avantages que des inconvénients, soient développées et comprises par les joueurs. Cet objectif s'avère être essentiel au déroulement du jeu et à la suite du projet.

3.1.1.3 Coconstruire

Un enjeu majeur est de réussir à permettre aux différents profils de participants d'interagir entre eux. Le jeu doit se baser sur de la coopération et de la prise de décision collective en incluant un dialogue constructif et les divergences de positions. En effet, tous les participants auront des points de vue différents selon leurs objectifs personnels et devront collaborer afin de trouver un compromis. Il est important que chaque acteur du jeu puisse s'exprimer librement sur ses craintes vis-à-vis d'éléments expliqués ou cités par d'autres participants, ses ambitions et ses idées. L'objectif de la co-construction sera également important dans le but d'observer les conséquences de certains scénarios.

3.1.1.4 Participation active

Lors du jeu sérieux, l'accent doit être mis sur la communication entre les acteurs. Un moyen de faire en sorte que chacun prenne part au débat réside en la répartition de rôles. L'aspect participatif sera alors au centre du jeu. Les caractéristiques de chaque rôle alimenteront les discussions et permettront de positionner les aménagements au mieux en trouvant des compromis. Il est indispensable de faire en sorte de proposer des mécanismes dans le but de stimuler les participants tout au long de la partie.

3.1.1.5 Ancrage territorial

Le jeu doit permettre aux participants de visualiser le bassin versant comme un système comprenant des acteurs, leurs interactions et les interconnexions du système. Il ne doit pas spécifiquement représenter le bassin versant étudié mais doit permettre aux joueurs de s'y identifier.

3.1.1.6 Agir

L'ancrage territorial va permettre aux citoyens de se sentir concerné. De ce fait, ils s'impliqueront davantage dans les décisions du jeu. Les décisions prises seront à certains moments incertaines, les impacts de celles-ci ne seront pas toujours connus et c'est ce qui va permettre aux joueurs de prendre conscience des caractéristiques que le jeu veut exprimer. L'opportunité dans ce cas de figure est de rectifier ou améliorer les éventuelles mesures prises durant les échanges de paroles.

3.1.2 Caractéristiques

3.1.2.1 Caractéristiques d'un jeu

Lors de la conception du jeu, il faut impérativement inclure les éléments qui qualifient une activité en tant que « Jeu ». Les caractéristiques étudiées par Jesper Juul (2003) vont permettre de donner un cadre aux jeux en général. Le jeu sérieux devra comprendre des règles précises empêchant la confusion lors des parties. Les objectifs du jeu seront clairement exposés aux participants en début de partie. Dans le cadre précis du projet ModRec2, les participants seront, en principe tous volontaires. Dans le cas contraire, il est impératif de faire en sorte de motiver les personnes concernées afin de ne pas acquiescer un sentiment d'obligation, la volonté de participer doit être respectée. Le résultat du jeu ne doit pas être connu avant la fin de celui-ci, il ne doit pas être

logique et prévisible. Des interactions entre les joueurs doivent avoir lieu et elles doivent permettre d'exprimer les désaccords possibles. Enfin, des éléments aléatoires doivent être présents.

3.1.2.2 Les aléas

L'incertitude doit prendre place dans ce jeu. Il est évident que le but va être de tester des aménagements. Si les joueurs ont toutes les informations sur l'efficacité de ceux-ci, les indications portant sur le ruissellement et autres informations importantes au début de la partie, l'aspect ludique ne prend plus sens. Il est important de faire en sorte lors de la conception, que tout ne soit pas dévoilé au début du jeu mais bien de réfléchir à aiguiller les joueurs plus explicitement durant la partie. Garder une part d'inconnu dans le jeu va permettre de garder l'attention des joueurs.

3.1.2.3 Mise en contexte

Un texte narratif doit précéder le jeu. Ce texte doit mettre en contexte des éléments forts afin de captiver les participants. Dans ce cas de figure, l'élément le plus important à citer est le phénomène hydrologique survenu en juillet 2021 et bien sûr les inondations qui en ont découlé. Il est intéressant d'introduire quelques notions d'hydrologie, de coopération, ainsi que vulgariser le projet. Il est intéressant que ce narratif explique que des améliorations sont possibles grâce à une modification partielle du paysage et des aménagements naturels. Ces derniers doivent être introduits de manière subtile afin de faire comprendre aux participants que ce sont les éléments sur lesquels le jeu va se baser. Les différents rôles devront aussi être compris dans cette introduction au jeu.

3.1.2.4 Equilibre

Lors de la partie, les aspects ludiques ou scientifiques ne doivent pas prendre le dessus l'un sur l'autre. Il est important de garder un équilibre global tout au long du jeu notamment dans l'alternance entre phases de jeu et de réflexion par exemple. L'enjeu est de conserver une cohérence pédagogique, une motivation constante et un attrait quel que soit le profil du joueur.

3.1.2.5 Evaluation en temps réel

Durant la partie, les participants devront pouvoir observer les avantages et les inconvénients de leurs actions. Cette forme d'évaluation continue devra leur permettre de réorienter leurs choix ou de changer de dispositif. Le rôle du narrateur sera crucial pour ce critère de jeu.

3.1.2.6 Fin du jeu

Le jeu se termine après un nombre de tours défini. Le mécanisme de jeu permet d'obtenir un résultat final par groupe et de le mettre en concurrence avec les résultats obtenus par les autres équipes. Les données des aménagements positionnés seront additionnées et en découlera une évaluation également comparable par groupe. À la suite de ces résultats, une discussion finale sera lancée afin de partager les expériences de chaque groupe.

3.2 Cahier des charges technique du jeu sérieux

3.2.1 Nom du jeu : Défi-RuisselNat

Le nom attribué à un jeu, qu'il soit sérieux ou ludique, peut apparaître comme un indicateur de la thématique abordée. Il peut être intéressant d'y inclure une référence à un des principaux objectifs du jeu. C'est la porte d'entrée vers le jeu. Il est important de réfléchir à un nom marquant qui transmet une information sur le contenu du jeu.

Le jeu « Sim-Mana » a fait une troncation en reprenant le mot « simulation ». Une abréviation créative a ensuite été réalisée afin de l'assembler à un autre élément du jeu et créer son titre. On peut comprendre ou, dans une moindre mesure, sous-entendre le principe du jeu directement via son titre.

Dans le cas du jeu sérieux portant sur le bassin de la Vesdre, l'aspect consultatif auprès de la population est l'objectif principal. La coopération et la co-création sont également des thématiques importantes. En tant qu'éléments principaux du jeu, il peut être intéressant d'évoquer les SFN dans le nom du jeu tout comme le concept de ruissellement.

Une série de mots-clés a été retenue comme source d'inspiration : Vesdre, coopération, solutions fondées sur la nature, bassin versant, inondation, paysage, ruissellement, infiltration, prévention. Durant cette réflexion, le nom « Vesdre » n'a pas été retenu afin de ne pas restreindre le projet à un bassin versant en particulier.

Le concept étant de réduire le ruissellement à l'aide d'aménagements naturels, c'est naturellement que le nom « Défi-RuisselNat » est apparu. L'association des deux mots est parfaitement déchiffrable par le grand public. De plus, un nom court et facile à prononcer s'ancrera plus facilement dans les mémoires.

3.2.2 Contraintes

Le but du jeu sérieux est de faire en sorte que les participants restent dynamiques tout au long d'une partie. Pour ce faire, la durée du jeu ne doit pas dépasser 2h. Ce temps comprend l'installation du matériel, la formation des groupes, les explications portant sur la thématique et la vulgarisation de certains termes inconnus, le texte narratif, la prise de connaissance des règles du jeu, la phase de jeu et la phase de débriefing finale. Les règles doivent être compréhensibles pour tous types de public. Les plateaux de jeu modulables permettent de jouer selon un nombre de participants variable et de se représenter plusieurs échelles de jeu. Les éléments du jeu sont réutilisables et permettent de cette façon de rejouer indéfiniment au jeu. Les cartes, le plateau et les autres éléments doivent être claires et lisibles afin de ne pas surcharger la vision et obstruer l'esprit des participants.

3.2.3 Support de jeu

3.2.3.1 Plateau de jeu

Le principe d'un plateau de jeu est d'avoir des interactions entre les participants. Un des atouts serait de sélectionner des endroits sur le plateau, qui représente un territoire spécifique problématique, où on peut placer des aménagements. L'avantage est de montrer directement aux participants les zones intéressantes mais cela implique de réduire l'imagination des joueurs. Une autre méthode serait de concevoir un plateau de jeu où les aménagements peuvent être positionnés dans de multiples zones représentés par des cases. De cette façon, les joueurs sont beaucoup plus libres de leurs mouvements.

Cette étape de création du jeu est la phase la plus complexe. C'est pourquoi la construction d'un plateau pilote est envisageable dans le but de concevoir le plateau final.

3.2.3.2 Maquette

L'utilisation d'une maquette topographique comme plateau de jeu peut présenter de multiples avantages. Pour la fabrication, plusieurs possibilités de conception sont envisageables pour représenter le bassin versant. Il existe plusieurs manières de transmettre les informations tels que par nuages de points, image raster ou via les courbes de niveaux (isolines). Techniquement, plusieurs méthodes peuvent être utilisées tels que la découpe laser ou la découpe à l'aide d'une CNC (computer Numerical Control) de plaques de type PVC (Polyvinyl chloride ou Polychlorure de vinyle) par exemple.

L'aspect visuel offert par ce support de jeu peut permettre une bonne représentation de la réalité. Il est même possible, mais complexe, d'utiliser de l'eau sur le support afin de représenter le ruissellement. Elle engendrerait des contraintes lors de la mise en œuvre et une augmentation du budget par l'utilisation de matériaux imperméables supplémentaires. Les dimensions ne doivent pas être un frein au transport c'est pourquoi un ordre de grandeur maximal a été imposé (60 cm x 100 cm).

Cette option présente une façon réaliste d'illustrer le ruissellement mais elle implique trop de contraintes lors de la mise en place et du rangement de la part du responsable. La praticité de déploiement du jeu est fortement diminuée.

Une maquette représentant un bassin versant réel, dans ce cas le bassin versant de Manaiant-Ourcy peut être un atout majeur lors de la consultation citoyenne. En contrepartie, cela représente un frein pour la rejouabilité du jeu dans d'autres contextes géographiques. Il est préférable de développer un plateau de jeu représentant un territoire fictif intégrant les éléments communs aux différents bassins versant.

3.2.4 Vulgarisation

Les jeux sérieux ont pour caractéristique de vulgariser les concepts complexes afin de rendre l'information compréhensible et assimilable par tous les participants. Dans le contexte de l'aménagement du bassin versant de la Vesdre et du jeu sérieux « Défi-RuisselNat », les termes issus de l'hydrologie et de l'aménagement doivent être abordés.

Ci-dessous, est présente une liste exhaustive des concepts vulgarisés à destination des participants :

- Cycle de l'eau : Chemin que parcourt l'eau sur terre (océan-évaporations-pluie-ruissellement/infiltration-océan).
- Précipitations : Toute forme d'eau qui tombe du ciel, peu importe sa forme.
- Bassin versant : Un bassin versant est une surface qui est définie par les reliefs dans laquelle tous les écoulements du territoire arrivent à un même point.
- Exutoire : Point de sortie d'un bassin versant. Les eaux rejoignent ensuite une étendue d'eau (mer, lac) ou un autre cours d'eau.
- Ruissellement : Écoulement des eaux sur la surface du sol.
- Infiltration : L'eau est absorbée par le sol et ne coule pas en surface.

- Taux d'infiltration : Vitesse à laquelle l'eau rentre dans le sol. Certains sols absorbent mieux l'eau que d'autres.
- Recharge des nappes : L'eau qui s'infiltré et traverse plusieurs couches du sol jusqu'à arriver aux réserves d'eau souterraines.
- Nappes : Endroits dans le sol caractérisé comme une grande éponge, contenant de l'eau.
- Érosion : Les éléments climatiques engendrent le déplacement des éléments du sol. Création de petit ravin par exemple.
- Sédiments : Particules du sol transportés par l'eau (érosion).
- Débit de pointe : Le moment où le cours d'eau enregistre le plus d'eau.
- Occupation du sol : Façon dont le territoire est utilisé.
- Aménagement du territoire : Façon de disposer ou agencer l'espace (route, maison, champs, ...).
- Aménagements hydrauliques : Éléments conçu pour gérer l'eau.
- Zone tampon : Espace prévu pour accueillir de l'eau temporairement pour éviter des inondations.
- Haie : Alignement d'arbres et/ou arbustes permettant de ralentir l'eau et de l'absorber par les racines. Elle peut abriter des animaux et embellir le paysage.
- Fascine-Haie : Combinaison de deux aménagements. La fascine est une barrière composée de branches qui ralentit l'eau. Une haie est plantée juste à côté.
- Mare : Plan d'eau de petite taille recueillant les eaux issues du ruissellement. Elle crée un refuge pour la biodiversité.
- Fossé à redents : Fossé dans lequel se trouve de petits barrages afin de ralentir l'écoulement.
- Fossé-Talus-Haie : Trio d'aménagements successifs. Le fossé capte l'eau, le talus inclut les racines de la haie et permet une meilleure infiltration. Les bénéfices de la haie sont inclus.
- Keyline : Sillons tracés selon les courbes de niveaux pour une répartition uniforme de l'eau.
- Fissuration : Ouverture du sol en profondeur sans détruire sa structure afin de favoriser l'infiltration de l'eau
- Redessin parcellaire : Réorganisation des parcelles pour mieux contrôler les flux d'eau du territoire et d'y placer des aménagements.

3.2.5 Libertés

Dès le début d'une partie, les participants auront la possibilité de placer leur pion respectif sur une case au choix du plateau de jeu. Ce mécanisme va permettre de les stimuler et d'amener une

part de responsabilité plus tard dans le jeu. En quelque sorte, ils choisiront une zone d'intérêt personnel.

En possédant plusieurs cartes, ils seront libres de faire des choix stratégiques en fonction des possibilités offertes par le jeu sur le moment.

3.2.6 Déroulement d'une partie

- 1 Mise en place et explication : Les participants vont tout d'abord être répartis par groupe de 4 à 6 personnes. Chaque groupe se voit confié un plateau de jeu, un pion et des cartes (entre 3 et 5 cartes « aménagement ») par personnes en fonction du nombre de participants et un dé à jouer par groupe.
- 2 Le narrateur présente le thème du jeu, les concepts importants (hydrologie, bassin versant, ruissellement, NBS) et illustre le début du jeu par le narratif.
- 3 Les règles sont développées clairement et d'éventuelles questions peuvent être posées.
- 4 Les groupes sont en phase de jeu, ils conçoivent un aménagement en se concertant. Ils font appel si besoin aux explications supplémentaires du maître du jeu. Chaque groupe conclut sa partie après un nombre de tours de jeu (3).
- 5 Les groupes rassemblent les plateaux de jeu et comparent leur aménagement général à ceux des différents groupes. Un représentant de chaque groupe va partager, avec les autres groupes, les idées du sien.
- 6 Une discussion générale a lieu, le narrateur prend la parole afin de conclure.

3.2.7 Contenu de « Défis-RuisselNat »

3.2.7.1 *Narratif – Introduction*

Ce texte narratif est lu aux participants avant de commencer à jouer. Il les plongera dans l'univers du jeu et éveillera leur curiosité et leur implication. Il introduit le contexte, et favorise l'identification des participants en tant qu'acteurs du territoire fictif.

« Univlage est un village paisible situé dans une région vallonnée. Un petit ruisseau et une rivière embellissent ce paysage. Il fait bon vivre à Univlage, il règne une certaine unité et une bienveillance entre les habitants. En effet tout le monde connaît la plus-value de chacun envers le village.

Il y a quelques années, une pluie exceptionnelle s'est abattue sur la région. L'eau tombant en grande quantité en un court laps de temps, elle n'eut pas la possibilité de pénétrer dans les sols des champs. Les cours d'eau avaient débordé et le centre du village a subi des dégâts à la suite de l'inévitable inondation. Des habitations, voitures et parcelles agricoles ont été endommagées. Les communes situées en contrebas ont fait les frais de l'accumulation du ruissellement des communes comme la nôtre, situées en amont. Les dégâts y étaient encore plus importants.

Après cet épisode pluvieux extrême, tout le village s'est rendu compte qu'il fallait trouver des solutions pour ne plus que cela se reproduise. La gestion des eaux n'est plus adaptée aux

nouvelles conditions météorologiques. Ne pouvant pas modifier les pluies, qui deviennent de plus en plus intenses et récurrentes.

Quelques mois plus tard, les dégâts étant réparés, un projet voit le jour afin d'inviter tous les acteurs du village dans l'optique de concevoir ensemble un nouveau plan du territoire comprenant des aménagements naturels efficaces. Des agriculteurs, en passant par les agents communaux jusqu'aux élus, tout le monde a son mot à dire et son point de vue à défendre. C'est de leur unité et de leurs discussions que seront trouvés les compromis entre intérêts personnels et communs dans le but de réduire le ruissellement. »

3.2.7.2 Narrateur - Maître du jeu

Le rôle de narrateur permettra d'introduire correctement le jeu via la mise en contexte. Ensuite, il sera en mesure de transmettre les règles aux participants et d'apporter des précisions si nécessaire. Son rôle de supervision permettra durant le jeu de vérifier la cohérence des aménagements apportés mais également de s'assurer que les liens entre la théorie et la pratique sont bien compris. Lors de son passage dans les groupes, ses explications pourront être adaptées en fonction de la compréhension du sujet et il pourra vérifier si tous les acteurs prennent part aux discussions. Il pourra également rééquilibrer les débats et recentrer les discussions s'écartant du sujet.

3.2.7.3 Participants

Les participants seront rassemblés en 4 groupes comprenant 4 à 6 personnes. Le nombre de participants peut varier de 8 à 24 joueurs. Ce sont les spécificités du plateau de jeu, qui permettent la variabilité du nombre de participants. En effet, le fait qu'il y ait 4 exemplaires similaires de plateau permet de former différents groupes.

L'idéal est de former des groupes de 6 personnes afin de remplir tous les rôles.

Si un groupe est composé de 4 joueurs, les participants recevront tous 3 « Billets » supplémentaires et pourront au cours du tour qu'ils souhaitent, appliquer ces aménagements. L'ensemble du groupe sera chargé de positionner deux aménagements supplémentaires à la fin du troisième tour et avec seulement 6 « Billets ».

Si un groupe est composé de 5 joueurs, les participants auront une enveloppe de 9 « Billets » afin de jouer ensemble et positionner un aménagement par tour.

Les groupes composés de moins de 6 joueurs ne seront pas désavantagés et au contraire, ils renforceront l'aspect de cocréation. Les groupes sont tenus de réfléchir le plus possible dans le sens du rôle représenté.

3.2.7.4 Cartes Rôles

Six rôles sont disponibles dans le jeu. Tous ont des caractéristiques et envies personnelles. Les rôles sont présentés aux joueurs sous forme de cartes et listent les points d'attentions de chacun. Ils sont attribués aléatoirement et permettront de voir à quel point les joueurs se détacheront de leur fonction réelle.

- Agriculteur-trice :

- Favoriser l'accès à ses parcelles (champs, prairies).
- Favoriser la production.
- Réduire au maximum les coûts et le temps d'entretien des aménagements.
- Éviter l'érosion des sols (perte de valeur des sols).



Figure 25: Carte Défi-RuisselNat, Agriculteur-trice. Source : Jaumain Emilien, Canva.

- Citoyen-ne
 - Empêcher l'inondation des habitations
 - Favoriser l'embellissement du paysage (patrimoine).
 - Les maisons veulent un jardin avec une vue dégagée



Figure 26: Carte Défi-RuisselNat, Citoyen-ne. Source : Jaumain Emilien, Canva.

- Expert-e (Aménagement et Sciences Naturelles)
 - Favorise les aménagements efficaces contre le ruissellement.
 - Favorise les aménagements apportant des bénéfices sur le long terme.
 - Favorise les aménagements de type SFN.
 - Favoriser le développement de la biodiversité

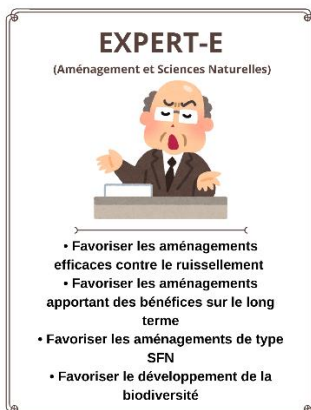


Figure 27: Carte Défi-RuisselNat, Expert-e. Source : Jaumain Emilien, Canva.

- Agent-e communal-e
 - Favorise les aménagements représentant un entretien faible et simple.
 - Favoriser l’embellissement du paysage (cadre de travail).
 - Empêcher l’inondation des habitations



Figure 28: Carte Défi-RuisselNat, Agent-e communal-e. Source : Jaumain Emilien, Canva.

- Propriétaire foncier (terrain et/ou terrain et habitation)
 - Favoriser les aménagements apportant une plus-value patrimoniale.
 - Favorise les aménagements représentant un entretien faible et simple.
 - Favoriser la lutte contre les inondations domestiques (propriétés/parcelles louées)

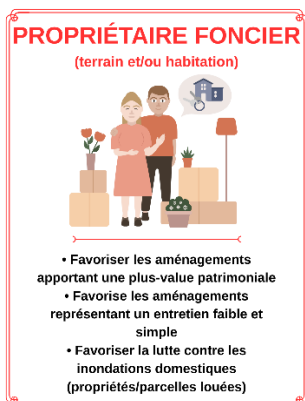


Figure 29: Carte Défi-RuisselNat, Propriétaire foncier. Source : Jaumain Emilien, Canva.

- Elu-e
 - Favorise les aménagements soutenus par l'opinion publique.
 - Favorise le dialogue entre acteurs afin de trouver des compromis.
 - Minimiser les coûts



Figure 30: Carte Défi-RuisselNat, Elu-e. Source : Jaumain Emilien, Canva.

3.2.7.5 Cartes Aménagements

Lors de chaque tour de jeu, les participants ont entre leurs mains différentes cartes comprenant des aménagements. Elles vont permettre d'appliquer les aménagements et améliorer le territoire. Ces dernières sont au nombre de huit.

Chaque carte comprend une image, une brève description de l'aménagement ainsi que des critères qui l'évaluent. Elles comprennent également le prix et la capacité d'infiltration fictive sur le bord supérieur.

3.2.7.5.1 Description des critères et des cotations.

Les critères sont déterminés en fonction des apports de ceux-ci dans différents domaines :

- Capacité d'infiltration : Cela représente la quantité d'eau que le sol peut absorber. Cette eau ne ruissellera pas (1/5 = mauvaise capacité d'infiltration, 5/5 = capacité d'infiltration excellente).
- Réduction de l'érosion : Réduire la vitesse d'écoulement de l'eau, limiter le transport de particules de sol (1/5 = mauvaise réduction de l'érosion, 5/5 = réduction de l'érosion excellente).
- Atout pour le développement de la biodiversité : Fait référence à la création de zones favorable à la faune et la flore (habitats, nourriture, ...), (1/5 = non favorable, 5/5 = très favorable).
- Impacts positifs sur le paysage : L'aménagement embellit le paysage, il s'intègre harmonieusement (1/5 = impacts négatifs, 5/5 = excellents impacts).
- Nécessité d'entretien : Pour garder une efficacité constante, un effort doit être fourni (1/5 = entretien fréquent, 5/5 = entretien faible).
- Coûts : Moyens financiers à prévoir pour mettre en place l'aménagement (1/5 = peu onéreux, 5/5 = aménagement coûteux).
- Facilité de mise en place : Simplicité de création de l'aménagement (1/5 = aménagement complexe, 5/5 = aménagement simple).

L'attribution de ces cotes a été complexe. Tout d'abord, des notes ont été délivrées sous l'impulsion des éléments théoriques. Une fois cette note attribuée, une comparaison a eu lieu entre les notes de chaque aménagement dans le but d'obtenir une cohérence globale dans le jeu.

3.2.7.5.2 Ressources

Une question se pose quant à l'intégration des coûts et de l'entretien des solutions fondées sur la nature dans le jeu. Adopter les coûts va apporter du réalisme et de la crédibilité. Certaines solutions seront controversées si les coûts sont trop importants par rapport aux bénéfices ou ne pourront simplement pas être appliquées si le joueur ne dispose plus de ressources. Néanmoins ces éléments pourraient favoriser l'aspect ludique du jeu et la concertation entre joueur.

La notion de prix a donc été ajoutée au jeu. Les participants commenceront la partie avec une somme d'argent fictif afin de pouvoir jouer leurs cartes de solutions. Chacune d'elle représente un coût spécifique. Le coût restera le même que celui indiqué dans les informations présentes sur la carte à jouer. Il sera en plus mis en évidence dans le coin supérieur droit de la carte.

A la suite de plusieurs parties tests et en fonction des prix des aménagements dans le jeu, une somme de départ a été convenue. Les joueurs débiteront la partie avec une somme de 9 billets.

3.2.7.5.3 Infiltration

Lors d'une partie, dans le but de simplifier le jeu et ne pas surcharger le plateau, la capacité d'infiltration des aménagements a été réévalué en prenant en compte une échelle de 3 unités.

Voici un tableau récapitulatif des capacités d'infiltration théorique attribuées sur une échelle de 5 et le nombre de gouttes d'eau absorbées par aménagement lors des phases de jeu.

Infiltration	Haie	Fascine-Haie	Mare	Fossé à redents	Fossé-talus-haie	Keyline	Fissuration	Redessin parcellaire
Taux théorique	4/5	5/5	3/5	2/5	5/5	5/5	4/5	3/5

Taux ludique	2	3	2	1	3	3	2	1 + 1
--------------	---	---	---	---	---	---	---	-------

Figure 31: Taux théorique et taux ludique d'infiltration

3.2.7.5.4 Contenu des cartes « aménagements » :

- Haie : Alignement d'arbres et/ou arbustes permettant de ralentir l'eau et de l'absorber par les racines. Elle peut abriter des animaux et embellir le paysage.
 - Capacité d'infiltration : 4/5 Gouttes : 2
 - Réduction de l'érosion : 5/5
 - Atout pour le développement de la biodiversité : 5/5
 - Impacts positifs sur le paysage : 5/5
 - Nécessité d'entretien : 4/5
 - Coûts : 2/5
 - Facilité de mise en place : 4/5

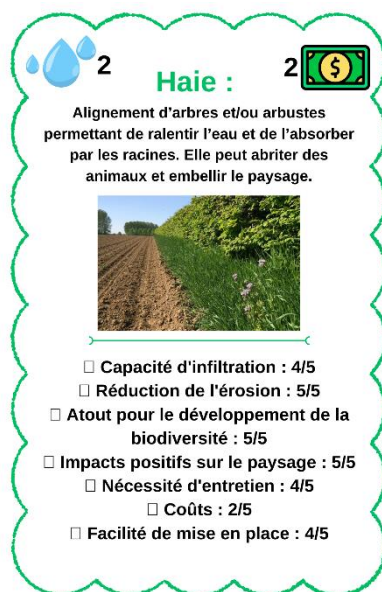




Figure 32 : Carte Défi-RuisselNat, Haie. Source : Jaumain Emilien, Canva.

- Fascine-Haie : Combinaison de deux aménagements. La fascine est une barrière composée de branches qui ralentit l'eau. Une haie est plantée juste à côté.
 - Capacité d'infiltration : 5/5 Gouttes : 3
 - Réduction de l'érosion : 5/5
 - Atout pour le développement de la biodiversité : 5/5
 - Impacts positifs sur le paysage : 4/5
 - Nécessité d'entretien : 3/5
 - Coûts : 3/5
 - Facilité de mise en place : 3/5

3  3 

Fascine-Haie :

Combinaison de deux aménagements. La fascine est une barrière composée de branches qui ralentit l'eau. Une haie est plantée juste à côté.





Capacité d'infiltration : 5/5
 Réduction de l'érosion : 5/5
 Atout pour le développement de la biodiversité : 5/5
 Impacts positifs sur le paysage : 4/5
 Nécessité d'entretien : 3/5
 Coûts : 3/5
 Facilité de mise en place : 3/5

Figure 33: Carte Défi-RuisselNat, Fascine-Haie. Source : Jaumain Emilien, Canva.


- Mare : Plan d'eau de petite taille recueillant les eaux issues du ruissellement. Elle crée un refuge pour la biodiversité

- Capacité d'infiltration : 3/5 Gouttes : 2
- Réduction de l'érosion : 4/5
- Atout pour le développement de la biodiversité : 5/5
- Impacts positifs sur le paysage : 4/5
- Nécessité d'entretien : 2/5
- Coûts : 3/5
- Facilité de mise en place : 2/5

2  3 

Mare :

Plan d'eau de petite taille recueillant les eaux issues du ruissellement. Elle crée un refuge pour la biodiversité



Capacité d'infiltration : 3/5
 Réduction de l'érosion : 4/5
 Atout pour le développement de la biodiversité : 5/5
 Impacts positifs sur le paysage : 4/5
 Nécessité d'entretien : 2/5
 Coûts : 3/5
 Facilité de mise en place : 2/5

Figure 34: Carte Défi-RuisselNat, Mare. Source : Jaumain Emilien, Canva.

- Fossé à redents : Fossé dans lequel se trouve de petits barrages afin de ralentir l'écoulement.

- Capacité d'infiltration : 2/5 Gouttes : 1
- Réduction de l'érosion : 4/5
- Atout pour le développement de la biodiversité : 2/5
- Impacts positifs sur le paysage : 2/5
- Nécessité d'entretien : 4/5
- Coûts : 2/5
- Facilité de mise en place : 4/5

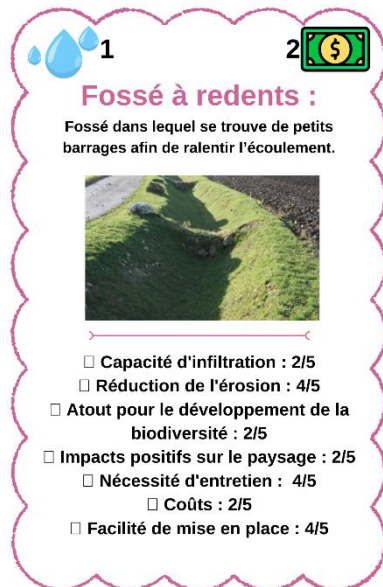



Figure 35: Carte Défi-RuisselNat, Fossé à redents. Source : Jaumain Emilien, Canva.


- Fossé-talus-haie : Trio d'aménagements successifs. Le fossé capte l'eau, le talus inclut les racines de la haie et permet une meilleure infiltration. Les bénéfices de la haie sont inclus.

- Capacité d'infiltration : 5/5 Gouttes : 3
- Réduction de l'érosion : 5/5
- Atout pour le développement de la biodiversité : 5/5
- Impacts positifs sur le paysage : 4/5
- Nécessité d'entretien : 3/5
- Coûts : 4/5
- Facilité de mise en place : 3/5

3 4 

Fossé-talus-haie :

Trio d'aménagements successifs. Le fossé capte l'eau, le talus inclut les racines de la haie et permet une meilleure infiltration. Les bénéfices de la haie sont inclus.



- Capacité d'infiltration : 5/5
- Réduction de l'érosion : 5/5
- Atout pour le développement de la biodiversité : 5/5
- Impacts positifs sur le paysage : 4/5
 - Nécessité d'entretien : 3/5
 - Coûts : 4/5
- Facilité de mise en place : 3/5

Figure 36: Carte Défi-RuisselNat, Fossé-talus-haie. Source : Jaumain Emilien, Canva.

- Keyline : Sillons tracés selon les courbes de niveaux pour une répartition uniforme de l'eau. Souvent composée d'un fossé-talus-haie mais peut également être définie par un labour spécifique.

- Capacité d'infiltration : 5/5 Gouttes : 3
- Réduction de l'érosion : 4/5
- Atout pour le développement de la biodiversité : 2/5
- Impacts positifs sur le paysage : 4/5
- Nécessité d'entretien : 5/5
- Coûts : 4/5
- Facilité de mise en place : 4/5

3 4 

Keyline :

Sillons tracés selon les courbes de niveaux pour une répartition uniforme de l'eau. Souvent composée d'un fossé-talus-haie mais peut également être définie par un labour spécifique.



- Capacité d'infiltration : 5/5
- Réduction de l'érosion : 4/5
- Atout pour le développement de la biodiversité : 2/5
- Impacts positifs sur le paysage : 4/5
 - Nécessité d'entretien : 5/5
 - Coûts : 4/5
- Facilité de mise en place : 4/5

Figure 37: Carte Défi-RuisselNat, Keyline. Source : Jaumain Emilien, Canva.

- Fissuration : Ouverture du sol en profondeur sans détruire sa structure afin de favoriser l'infiltration de l'eau.

- Capacité d'infiltration : 4/5 Gouttes : 2
- Réduction de l'érosion : 3/5
- Atout pour le développement de la biodiversité : 2/5
- Impacts positifs sur le paysage : 3/5
- Nécessité d'entretien : 5/5
- Coûts : 2/5
- Facilité de mise en place : 4/5



Figure 38: Carte Défi-RuisselNat, Fissuration. Source : Jaumain Emilien, Canva.


- Redessin parcellaire : Réorganisation des parcelles pour mieux contrôler les flux d'eau du territoire et d'y placer des aménagements.

Cet aménagement seul ne permet pas toujours d'obtenir de bons résultats en termes d'infiltration. C'est pour cette raison que lorsque l'aménagement sera combiné à un autre sur une même case, il pourra infiltrer une goutte de plus, en plus de la quantité de gouttes de l'aménagement supplémentaire.

- Capacité d'infiltration : 3/5 Gouttes : 1 (+1)
- Réduction de l'érosion : 4/5
- Atout pour le développement de la biodiversité : 4/5
- Impacts positifs sur le paysage : 4/5
- Nécessité d'entretien : 2/5
- Coûts : 4/5 (intervention étatique)
- Facilité de mise en place : 2/5

1 (+1) 4

Redessin parcellaire :
Réorganisation des parcelles pour mieux contrôler les flux d'eau du territoire et d'y placer des aménagements



- Capacité d'infiltration : 3/5
- Réduction de l'érosion : 4/5
- Atout pour le développement de la biodiversité : 4/5
- Impacts positifs sur le paysage : 4/5
- Nécessité d'entretien : 2/5
- Coûts : 4/5 (intervention étatique)
- Facilité de mise en place : 2/5

Figure 39: Carte Défi-RuisselNat, Redessin parcellaire. Source : Jaumain Emilien, Canva.

3.2.7.6 Evènements

Dans le jeu, l'eau est représentée par des pions sous forme de gouttes et symbolise un épisode pluvieux. Lors du premier tour, une goutte d'eau apparaît sur les cases du pourtour du plateau de jeu (bord gauche, bord supérieur, bord droit). Les cases habitations engendreront deux fois plus de gouttes que les autres mais les participants ne le découvriront que lors du deuxième tour à l'aide d'un calque. L'écoulement sera manuel sur le plateau. Après chaque tour de jeu, les gouttes se déplacent de case en case jusqu'à buter sur un aménagement ou continuer jusqu'à l'exutoire.

3.2.7.7 Eléments aléatoires

Lors du début de la partie, les joueurs reçoivent un rôle présentant certaines prises d'opinions spécifiques. Ensuite ils positionnent leur pion aléatoirement sur le plateau. Afin de se déplacer jusqu'à la case voulue pour positionner un aménagement, les participants utilisent un dé. Ils se déplacent en fonction du nombre obtenu sur le dé. Cela va impliquer une réflexion de groupe. En effet, si le groupe juge nécessaire de positionner un aménagement proche du pion d'un joueur mais que ce dernier ne dispose pas de la carte nécessaire, il pourra échanger une de ses cartes avec un autre participant.

3.2.7.8 Pions

Chaque carte rôle dispose d'un pion spécifique représenté par un personnage caractéristique. Les aménagements sont représentés par des éléments naturels ressemblant à l'aménagement réel. Une légende sera disponible pour les participants.

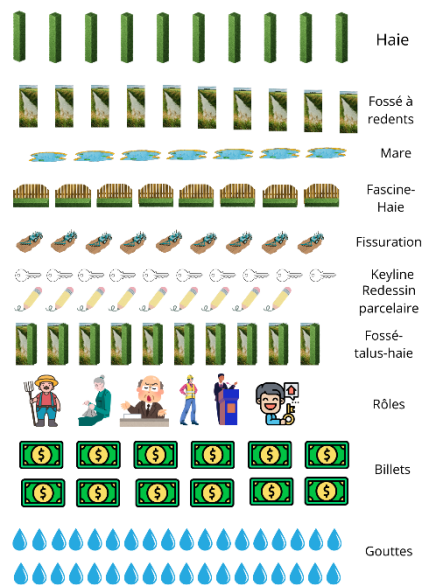


Figure 40: Pions. Source : Jaumain Emilien, Canva.

3.2.7.9 Support - Plateau de jeu

Le support de jeu se présente sous forme de 4 plateaux identiques rectangulaires. Les éléments présents sur le plateau sont imposés aux participant. Le but principal étant de réfléchir à la thématique des NBS. Laisser la liberté aux participants de positionner les bâtiments ou autre, va rendre le jeu plus complexe tant au niveau de la praticité qu'au niveau de l'analyse en temps réel faite par le maître du jeu. Cette pratique risque d'aller à l'encontre des objectifs principaux.

Le plateau de jeu est conçu selon une réflexion en plusieurs phases. Un tableau blanc a permis de concevoir plusieurs plateaux expérimentaux avant une réalisation graphique à l'aide du logiciel Canva.

Sur le terrain, sont présentes deux zones d'habitations faisant partie du même village (Univlage). Une zone comprend notamment une ferme positionnée en amont du territoire, l'autre zone représente le centre du village en aval du bassin sur le bord sud du plateau.

Un ruisseau prend sa source sur les hauteurs ouest du bassin versant fictif et rejoint une rivière principale. Elle, prend sa source à l'est et passe au milieu du village. Les deux cours d'eau ont des tracés théoriques afin de respecter au mieux le dénivelé théorique.

Une route relie les deux zones d'habitations et une autre est orientée Est-Ouest créant ainsi un carrefour routier.

Le reste du bassin versant est composé de plusieurs prairies séparées par des clôtures. Une parcelle à nu est présente, le reste sont des prairies.

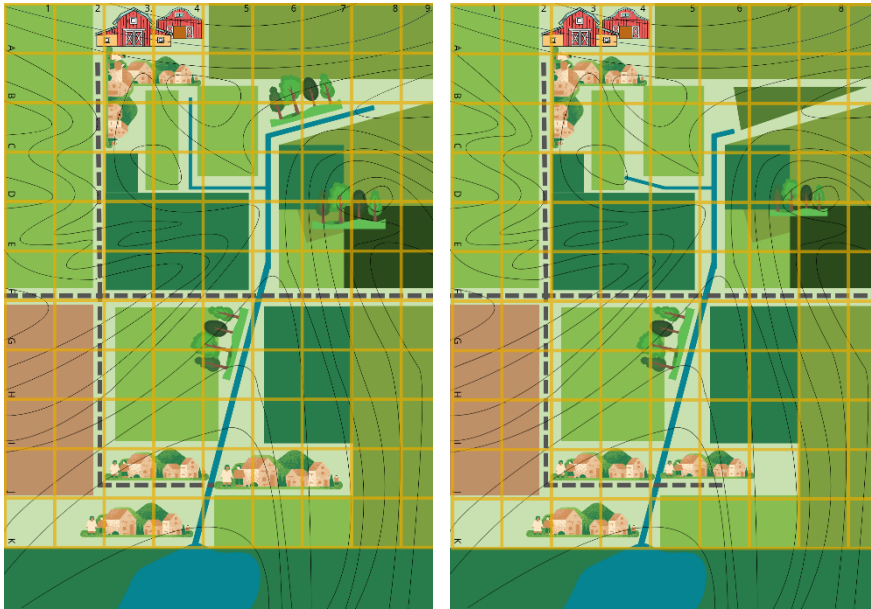


Figure 41: Plateau de jeu, phase finale 1. Source : Jaumain Emilien, Canva.

Figure 42: Plateau de jeu, phase finale 2. Source : Jaumain Emilien, Canva.

Des courbes de niveau indiquent le relief. Afin de rendre le jeu plus lisible, chaque case possède un sens d'écoulement visible à l'aide de calque transparents à poser sur le plateau. Le dénivelé représenté est théorique, chaque case est orientée soit Nord, Est, Sud ou Ouest. Une flèche par case permettra de se représenter la pente. Chaque case a aussi la fonction de potentiellement accueillir un aménagement.

Les 8 types d'aménagements ne sont pas présents initialement sur le plateau. De cette façon, une multitude de possibilité est applicable afin de rendre le territoire performant.

Le plateau ne comporte pas trop de détails techniques afin de ne pas surcharger les joueurs d'informations. L'objectif est de favoriser la discussion et le débat plutôt que de simplement transmettre des informations non essentielles.

À la suite de parties d'essais, le plateau de jeu a évolué pour atteindre sa forme finale.

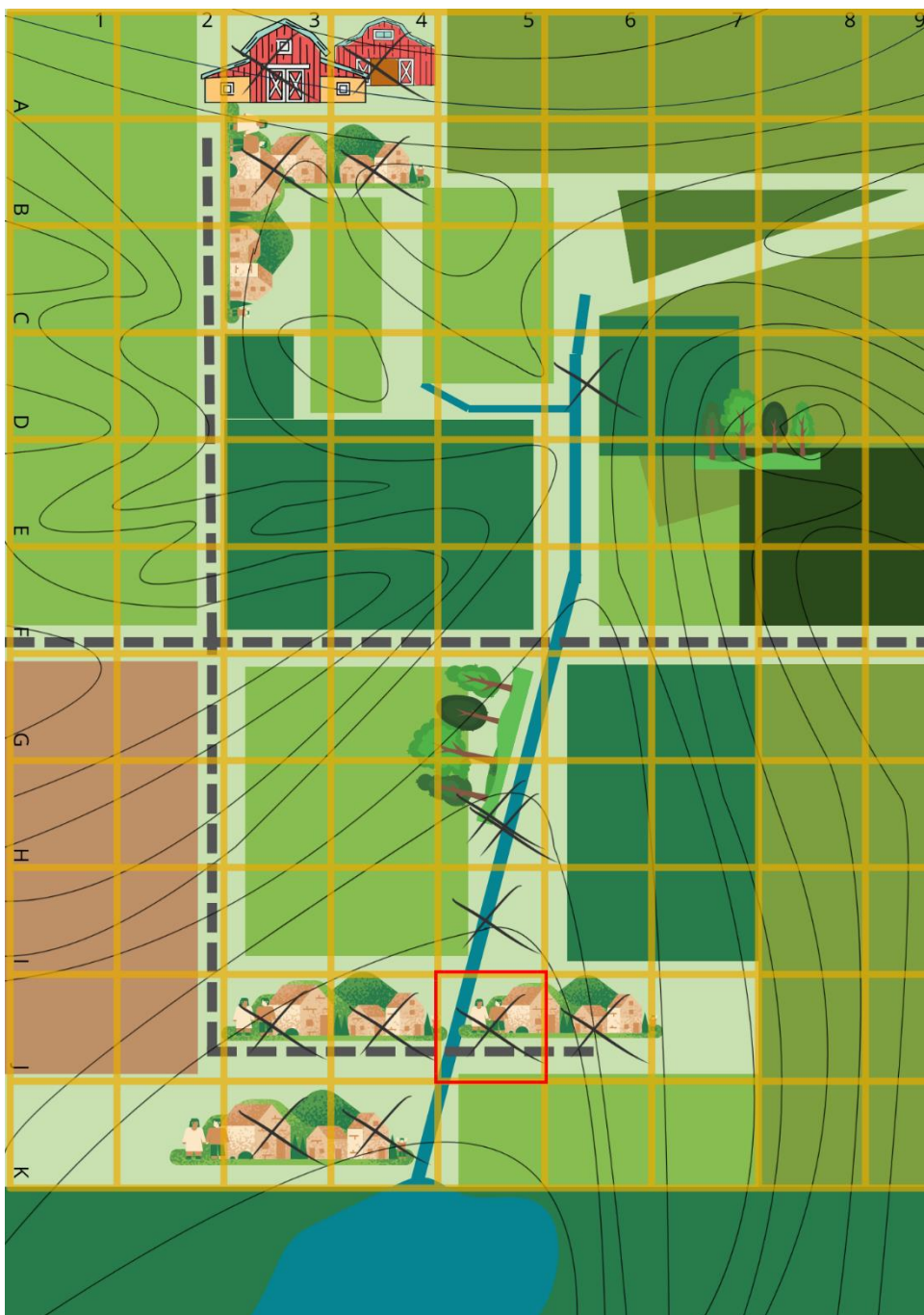


Figure 43: Plateau de jeu final. Source : Jaumain Emilien, Canva.

Le plateau présente plusieurs caractéristiques :

- Afin d'aider à désigner les cases intéressantes lors des discussions, une numérotation horizontale sous forme de chiffre est réalisée et une verticale sous forme de lettre permettra d'identifier chaque case du cadrillage correctement.
- Des croix sont présentes sur certaines cases. Elles signifient que rien n'en peut être aménagé sur ces cases. La plupart d'entre elles sont urbanisées, les autres représentent le cours d'eau. Les cases contenant un cours d'eau mais pas de croix sont des cases disponibles pour les aménagements. En effet, on peut imaginer placer un dispositif avant que l'eau atteigne la rivière.

- La case rouge représente un point clé du plateau, celui où la rivière se faufile entre les habitations. Il sera important d’y prêter attention au cours du jeu.

Dans le but d’aider les participants à comprendre les flux de ruissellements, des calques ont été réalisés. Ils permettent d’une part d’identifier le sens de ruissellement de l’eau par case par des flèches. D’autre part, il permet de visualiser l’écoulement comme un flux à l’aide de courbes et de droites suivant la direction de l’écoulement. Cette représentation sera sûrement la plus marquante pour les joueurs. Elle est la plus représentative de l’écoulement.

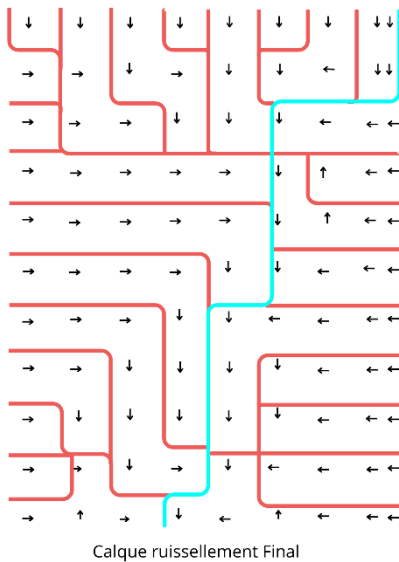


Figure 44: Calque ruissellement final. Source : Jaumain Emilien, Canva.

Lors du premier tour, deux calques seront disponibles pour les joueurs en plus du calque général. Un montrant la direction et l’autre le tracé.

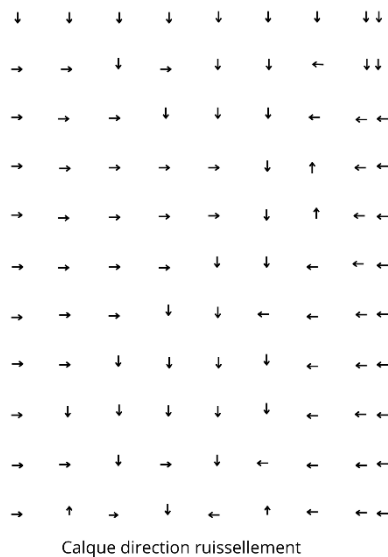
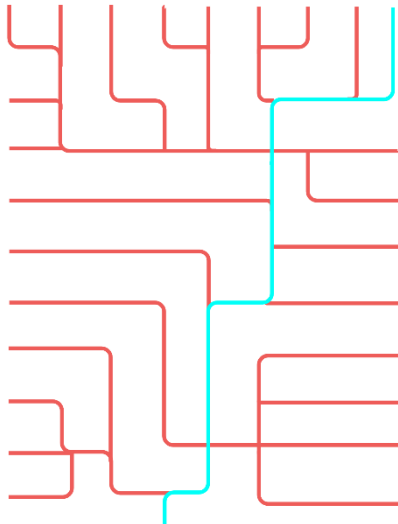


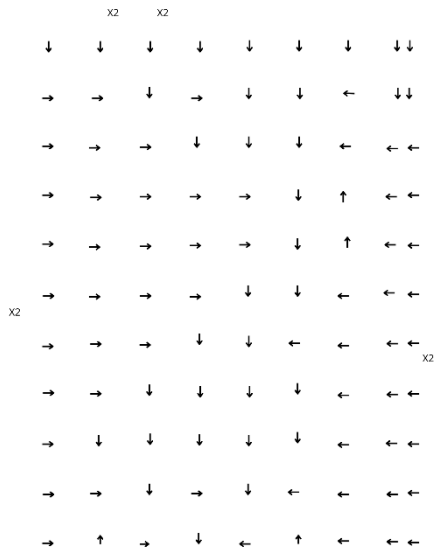
Figure 45: Calque direction ruissellement. Source : Jaumain Emilien, Canva.



Calque tracé ruissellement Final

Figure 46: Calque tracé ruissellement. Source : Jaumain Emilien, Canva.

Après la découverte de la mécanique « x2 » de certaines cases lors du tours « 1 », les participants se verront attribué de nouveaux calques indiquant les cases qui comportent cette mécanique. Ces cases représentent l’artificialisation des sols ou encore une mauvaise gestion agricole.



Calque direction ruissellement tour 2

Figure 47: Calque direction ruissellement tour 2 et 3. Source : Jaumain Emilien, Canva.

- F. Après chaque tour de jeu, les gouttes situées sur le pourtour du plateau (gauche, supérieur et droit), se déplacent de case en case jusqu'à buter sur un aménagement ou arriver à l'exutoire du bassin. Les participants découvrent durant cette période de pluie que certaines casent ont un ruissellement doublé. Un résultat est obtenu en additionnant toutes les gouttes présentes à l'exutoire. Ils notent leurs résultats sur la feuille. Ils calculent également combien de gouttes passent par la rivière dans le village afin de quantifier le débit de celle-ci.
- G. Tour 2 : Même principe que le tour 1, les participants ont maintenant en leurs possessions les calques finaux et sont conscients des doublons. Ils opèrent de la même manière.
- H. Tour 3 : Même principe que le tour 1 et 2. Ils opèrent de la même manière si ce n'est que les participants peuvent s'échanger les cartes en fonction de leur position et de ce qu'ils ont la possibilité de faire. Si un participant est trop loin d'une case où il veut positionner un aménagement que seul lui détient, il peut l'échanger.
- I. La fin du tour 3 est marquée par une pluie plus intense comprenant une doublure générale des gouttes par case mais les participants ne le savent pas avant de jouer. Ils constatent l'efficacité de leurs aménagements lors de crues exceptionnelles.
- J. Au bout des 3 tours, les plateaux des différents groupes sont rassemblés et analysés par les autres groupes et le maître du jeu. Le groupe disposant du moins de « gouttes » à l'exutoire remportera la partie.
- K. Résultats : Lors de la fin de partie, le cumul des aménagements doit être inférieur à la moitié d'une pluie classique (32 gouttes). Dans le cas contraire la partie est perdue. Concernant le débit de l'eau calculé au centre du village (case rouge), il doit être inférieur à 25, qui est un chiffre référence pour situer un débit trop important qui cause problème dans le village.
En fonction des aménagements placés sur le plateau, les différents groupes peuvent en additionnant les chiffres repris sur les cartes des aménagements, calculer l'indice de biodiversité, les coûts totaux, la réduction de l'érosion, ou encore chiffrer un impact sur le paysage pour ensuite les comparer avec les autres groupes.
- L. Enfin, le maître du jeu conclut la partie en répondant à d'éventuelles questions et ouvre une discussion portant sur des cas concrets.

3.3 Partie expérimentale

Afin de s'assurer que le jeu est jouable, tout au long du processus de conception du plateau, des essais-erreurs ont été réalisés afin de modifier les écoulements, le terrain ou encore de chiffrer le prix fictif des aménagements et le nombre de « gouttes » absorbées.

Voici les résultats de cette partie exprimés sous forme de tableau de prix et tableau de ruissellement :

Portefeuille joueur et tour de jeu	J1	J2	J3	J4	J5	J6
1	Redessin 4	Fissuration 2	Keyline 4	F-T-H 4	Fa – H 3	Fa – H 3
2	Fossé 2	Haie 2	Fossé 2	F-T-H 4	Keyline 4	Keyline 4
	6	4	6	8	7	7
3	Mare 3	F-T-H 4	Fa – H 3	/	Haie 2	Haie 2
Total	9	8	9	8	9	9

Figure 49 : Tableau "Portefeuille joueur et tour de jeu"

Ruissellement joueur et tour de jeu	J1	J2	J3	J4	J5	J6	Total ruissellement
1	Redessin 1	Fissuration 2	Keyline 3	F-T-H 3	Fa – H 3	Fa – H 3	32 gouttes – (15 potentielles) 11 = 21 gouttes dont 17 Riv Village
2	Fossé 1	Haie 2	Fossé 1	F-T-H 3	Keyline 4	Keyline 4	32 gouttes – 23 gouttes réel (30 potentielles) (15 pot sur le tour) = 9 dont 9 dans la rivière
3	Mare 2	F-T-H 3	Fa – H 3	/	Haie 2	Haie 2	68 gouttes – (sur le tour = 12 potentielles) (global potentielles : 42) 42 = 26 gouttes dont 22 dans Riv village
Total	4	7	7	6	9	9	42

Figure 50 : "Ruissellement joueur et tour de jeu"

Lors de cette partie, presque tous dépensé le montant attribué. Le ruissellement a pu être maîtrisé lors de la forte intempérie. Sur les 68 gouttes comptées, 46 ont pu être retenues, seulement 22 se sont écoulées dans la rivière du village. Le résultat est donc concluant.



Figure 51: Partie test du jeu sérieux "Défi-RuisselNat", Source : Jaumain Emilien, Photo appareil mobile.

3.4 Pistes d'améliorations

La réalisation de ce jeu peut être critiquée. En effet plusieurs points peuvent être améliorés mais la complexité de la mise en place faisait souvent défaut pour la création du plateau de jeu. Ci-dessous sont présentées les pistes d'améliorations :

- La qualité de l'eau peut être mise en avant à l'aide de pions pouvant changer de couleur.
- L'introduction de bonus/malus liés à l'entretien des aménagements au cours de la partie peut être très intéressant. La quantification implique des tours de jeux supplémentaires où les joueurs ne placent pas de NBS mais réalisent l'entretien. Cela est réalisable mais le jeu deviendrait complexe. En fonction de l'entretien, un NBS bien entretenu sera plus efficace lors de la prochaine précipitation tandis qu'un NBS mal entretenu verra ses performances diminuer.
- Dans une future version améliorée et plus complexe du jeu, on peut imaginer représenter le phénomène inverse, de sécheresse. Dans le contexte des solutions fondées sur la nature, il peut être intéressant de le développer au vu de la capacité de rétention d'eau de certains aménagements.
- L'idée initiale était de représenter une goutte par case. Malheureusement ce procédé a vite montré ses limites en raison du nombre de « goutte » qu'il fallut déployer. Afin de mesurer le ruissellement était trop importante. Afin que le jeu reste simple et compréhensible, cette option a été abandonnée.
- La question de : comment quantifier une accumulation de dispositifs, s'est posée. Encore une fois, les tests ont montré la complexité de créer un jeu simple comprenant des phénomènes complexes. Cependant, cette piste de réflexion reste envisageable en modifiant certains principes.
- Le jeu sérieux conçu dans ce cas a pour but de vulgariser le ruissellement. Tirer un bilan du nombre de blessés, de bâtiments endommagés, de voitures hors service, ou autre, est inconcevable dans cette version vulgarisée.
- Le jeu peut également inclure dans une version plus complète, des aménagements non NBS, d'ingénierie lourde. Cela démontrerait leur efficacité mais il faudrait trouver un moyen d'exprimer leurs inconvénients.

4 Conclusion

Depuis l'épisode pluvieux d'une intensité extrême survenu en juillet 2021 dans la région de Verviers, plusieurs pistes d'amélioration de gestion du bassin versant de la Vesdre ont été développées. Le réaménagement du bassin versant est indispensable afin de s'assurer que ce scénario d'inondation ne se reproduise plus. C'est au cours de cette démarche que le projet ModRec voit le jour. Les acteurs que sont l'Université de Liège (Gembloux Agro-Bio Tech) et le Contrat de rivière Vesdre, vont associer leurs expériences afin de concevoir un nouveau plan d'aménagement global du bassin versant.

Le projet ModRec, dans sa deuxième phase (ModRec2), a entre autres pour mission d'identifier des bassins versants pilotes appelés « territoire d'innovations hydrologique » dans lesquels vont être testés des aménagements naturels fondés sur la nature.

Dans la démarche de modification du territoire, il est indispensable d'obtenir les accords des propriétaires fonciers. Les aménagements se feront en majeure partie sur des terrains privés. Il est donc important de les motiver à prendre part au projet. Mobiliser les acteurs lors des phases de prise de décisions va s'avérer crucial dans le but d'obtenir des compromis et permettre au projet de trouver des solutions viables à long terme.

C'est dans cette optique que ce travail a permis de mettre en lumière la pratique et le développement des jeux sérieux dans le cadre de l'apprentissage de phénomènes complexes vulgarisés, dans ce cas-ci, le ruissellement de surface. Les jeux sérieux ont démontré leurs avantages dans le cadre de la participation citoyenne. Ceux-ci ont de véritables atouts afin de coconstruire des dispositifs, des plans d'aménagements ou simplement d'informer toute personne intéressée.

Un travail de recherche a permis de comprendre l'origine du jeu et en particulier du jeu sérieux. L'analyse de jeux sérieux en lien avec l'environnement et en particulier le domaine des inondations a permis de dégager des principes élémentaires à la création d'un jeu. Tous ces éléments ont permis la conception du jeu sérieux « Défi-RuisselNat ».

« Défi-RuisselNat » a rencontré de nombreuses contraintes lors de sa conception. La représentation du phénomène hydrologique de ruissellement a demandé une réflexion approfondie afin de ne pas rendre le jeu trop complexe et à la fois trop simpliste. Le plateau de jeu est l'élément central, qui doit accueillir toutes les mécaniques et pouvoir faire comprendre aux participants les phénomènes scientifiques complexes.

Le but principal de ce jeu sérieux était de démontrer les compétences des solutions fondées sur la nature en matière d'infiltration d'eau dans le sol. Le second objectif fut de concevoir un jeu participatif impliquant tous les joueurs et les poussant à établir un lien, se concerter, tout au long du jeu pour élaborer ensemble un plan fictif.

L'élaboration de cet outil de concertation publique nous a démontré qu'il était possible de concevoir collectivement un réseau d'aménagement opérationnel dans un bassin hydrographique fictif. Dès lors, le champ des possibles est ouvert afin d'explorer cette piste de réflexion et avancer durablement vers la création d'un plan d'aménagement comprenant les solutions fondées sur la nature dans un territoire d'innovation hydrologique.

5 Bibliographie

- . (2025, août 14). *Une véritable haie d'honneur pour elle à Ath, Lessines et ailleurs*. lavenir.net. <https://www.lavenir.net/regions/wallonie-picarde/ath/2023/11/23/une-veritable-haie-dhonneur-pour-elle-a-ath-lessines-et-ailleurs-CRVNIC6G5VHPBHR6YG5IGRRZM/>
- About Yeomans. (2011, avril 1). *The Yeomans Project*. <https://yeomansproject.com/about-yeomans/>
- AgriEuro Serie 170 Romagna Series Light 5 Tynes Tractor-mounted Ripper. (s. d.). AgriEuro.Com. Consulté 7 août 2025, à l'adresse <https://www.agrieuro.co.uk/agrieuro-serie-170-romagna-series-light-5-tynes-tractor-mounted-ripper-p-17818.html>
- Americans Trust Scientists, Until Politics Gets in the Way. (s. d.). *Wired*. Consulté 13 août 2025, à l'adresse <https://www.wired.com/story/americans-trust-scientists-until-politics-gets-in-the-way/>
- Boyle, J. A. (1956). On The Titles Given in Juvaini to Certain Mongolian Princes. *Harvard Journal of Asiatic Studies*, 19(1/2), 146. <https://doi.org/10.2307/2718493>
- Brochure de synthèse « Fascines et haies pour réduire les effets du ruissellement érosif », Ouvry et al. (AREAS), 2012. (s. d.). AREAS. Consulté 7 août 2025, à l'adresse <https://www.areas-asso.fr/ressources/documents/fascines-et-haies-pour-reduire-les-effets-du-ruissellement-erosif/>
- Cerema. Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement. (2022). *Gestion intégrée de l'eau en milieu urbain—Fiche n°6 -Les noues et les fossés* (Gestion intégrée de l'eau en milieu urbain). Cerema. Bron. <https://doc.cerema.fr/Default/doc/SYRACUSE/591917/gestion-integree-de-l-eau-en-milieu-urbain-fiche-n-6-les-noues-et-les-fosses>
- CIT IN CRISE – Simulateur de gestion de crise inondation. (s. d.). Consulté 31 mars 2025, à l'adresse <https://citin crise.mines-stetienne.fr/>
- Colombo, S. L., Chiarella, S. G., Lefrançois, C., Fradin, J., Raffone, A., & Simione, L. (2023). Why Knowing about Climate Change Is Not Enough to Change : A Perspective Paper on the Factors Explaining the Environmental Knowledge-Action Gap. *Sustainability*, 15(20), 14859. <https://doi.org/10.3390/su152014859>
- Conférence Permanente du Développement Territorial. (2022, Automne). *DEROULEMENT DE LA FRESQUE DU RISQUE D'INONDATION*. <https://cpdt.wallonie.be/wp-content/uploads/2023/09/Explication-de-deroule.pdf>
- Connolly, T. M., Boyle, E. A., MacArthur, E., Hainey, T., & Boyle, J. M. (2012). A systematic literature review of empirical evidence on computer games and serious games. *Computers & Education*, 59(2), 661-686.
- « Crue et d'eau », le jeu créé par l'Entente à destination des scolaires. (2018, janvier 11). Entente Oise Aisne. <https://www.oise-aisne.net/2018/01/11/crue-et-d-eau-le-jeu-cr%C3%A9-par-l-entente-%C3%A0-destination-des-scolaires/>
- Dervenn—Entreprise à mission—Etudes et travaux en génie écologique. (s. d.). Dervenn. Consulté 26 juillet 2025, à l'adresse <https://www.dervenn.com/>
- Des parcelles plus petites et plus diversifiées favorisent la diversité des plantes jusqu'au centre des champs | INRAE. (s. d.). Consulté 14 août 2025, à l'adresse <https://www.inrae.fr/actualites/CP-parcelles-petites-diversifiees-favorisent-diversite-plante>
- DeSmet, A., Thompson, D., Baranowski, T., Palmeira, A., Verloigne, M., & De Bourdeaudhuij, I. (2016). Is Participatory Design Associated with the Effectiveness of Serious Digital Games for Healthy Lifestyle Promotion? A Meta-Analysis. *Journal of Medical Internet Research*, 18(4), e94. <https://doi.org/10.2196/jmir.4444>
- Djaouti, D., Alvarez, J., & Jessel, J.-P. (2011). Classifying Serious Games : The G/P/S model. *Handbook of Research on Improving Learning and Motivation through Educational Games: Multidisciplinary Approaches*. <https://doi.org/10.4018/978-1-60960-495-0.ch006>
- Djaouti, D., Alvarez, J., Jessel, J.-P., & Rampnoux, O. (2011). Origins of serious games. In *Serious games and edutainment applications* (p. 25-43). Springer.
- DOSSIER Agriculture et coulées de boue—Celagri. (s. d.). Consulté 26 juillet 2025, à l'adresse <https://fr.readkong.com/page/dossier-agriculture-et-coulees-de-boue-3478531>
- Dunn-Vaturi, A.-E. (2018, octobre 1). *Board Games from Ancient Egypt and the Near East—The Metropolitan Museum of Art*. <https://www.metmuseum.org/essays/board-games-from-ancient-egypt-and-the-near-east>

- Évaluation des ressources forestières mondiales 2020. (2021). FAO. <https://doi.org/10.4060/ca9825fr>
- Extreme rain in Germany and Belgium in July 2021. (2021, octobre 20). [Text]. <https://www.ecmwf.int/en/newsletter/169/news/extreme-rain-germany-and-belgium-july-2021>
- Foto de Stock Lutte contre l'érosion des sols. Construction d'une fascine dans un champ de blé afin d'éviter les coulées de boues sur la route. (s. d.). Adobe Stock. Consulté 14 août 2025, à l'adresse <https://stock.adobe.com/es/images/lutte-contre-l-erosion-des-sols-construction-d-une-fascine-dans-un-champ-de-ble-afin-d-eviter-les-coulees-de-boues-sur-la-route/331703012>
- Fourcaux, A. (2023, novembre 30). Agriculture : À quoi sert la fissuration des sols ? *Nectar du Net*. <https://www.nectardunet.com/26272/agriculture-a-quoi-sert-la-fissuration-des-sols/>
- Fox, A. L. (1877). Exhibition of Votive Statuettes Found at Tanagra, Beotia. *The Journal of the Anthropological Institute of Great Britain and Ireland*, 6, 310. <https://doi.org/10.2307/2841420>
- France Nature Environnement Centre-Val de Loire. (2023). *Qu'est-ce qu'une haie?* https://fne-centrevaldeloire.org/system/files/inline-files/II1a-Qu_est_ce_qu_une_haie_vf-06-23.pdf#:~:text=Une%20haie%20est%20un%20lin%C3%A9aire%20de%20v%C3%A9g%C3%A9tation%20lign%C3%A9e%20non%20C3%A0%20un%20ourlet%20de%20plantes%20herbac%C3%A9es.
- Fresque du risque d'inondation – La Conférence Permanente du Développement Territorial. (s. d.). Consulté 1 avril 2025, à l'adresse <https://cpdt.wallonie.be/supports-pedagogique/fresque-du-risque-dinondation/>
- Full article : *Consiliari : Un jeu sérieux au service des missions de référent départemental inondation (RDI)*. (s. d.). Consulté 4 février 2025, à l'adresse <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/27678490.2024.2334429>
- Gaming Board Inscribed for Amenhotep III with Separate Sliding Drawer. (s. d.). Brooklyn Museum. Consulté 30 juillet 2025, à l'adresse <https://www.brooklynmuseum.org/fr-FR/objects/3536>
- Gestion de l'hydraulique du vignoble et DIG. (s. d.). *VICUS Urba*. Consulté 26 juillet 2025, à l'adresse <https://vicusurba.fr/la-gestion-de-lhydraulique-du-vignoble/>
- Gifford, R. (2011). The dragons of inaction : Psychological barriers that limit climate change mitigation and adaptation. *American Psychologist*, 66(4), 290-302. <https://doi.org/10.1037/a0023566>
- Gillain, Damien. (2021). *Guide technique de l'aroforesterie : Préparer, installer, entretenir et valoriser son projet*. Interreg Trans Agro Forest (SPW/AREAS/Hainaut Développement). Version papier.
- Grunwald, G., Kara, A., & Spillan, J. E. (2025). Involvement matters : Navigating the value–action gap in business students' sustainability transformation expectations—a cross-country Kano study. *Sustainability Science*. <https://doi.org/10.1007/s11625-025-01681-z>
- Gui, Y., Cai, Z., Yang, Y., Kong, L., Fan, X., & Tai, R. H. (2023). Effectiveness of digital educational game and game design in STEM learning : A meta-analytic review. *International Journal of STEM Education*, 10(1), 36. <https://doi.org/10.1186/s40594-023-00424-9>
- #IciOnAgit. *Aillevillers-et-Lyaumont : Aux petits soins de la terre nourricière*. (2023, décembre 20). <https://www.estrepublikain.fr/environnement/2023/12/20/aillevillers-et-lyaumont-aux-petits-soins-de-la-terre-nourriciere>
- Implanter des fossés enherbés. (s. d.). Triple Performance. Consulté 26 juillet 2025, à l'adresse https://wiki.tripleperformance.fr/wiki/Implanter_des_foss%C3%A9s_enherb%C3%A9s
- IRM - Ce que l'on sait sur les pluies exceptionnelles des 14 et 15 juillet 2021. (s. d.). KMI. Consulté 14 août 2025, à l'adresse <https://www.meteo.be/fr/infos/actualite/ce-que-lon-sait-sur-les-pluies-exceptionnelles-des-14-et-15-juillet-2021>
- IUCN, International Union for Conservation of Nature. (2020). *IUCN Global Standard for Nature-based Solutions : A user-friendly framework for the verification, design and scaling up of NbS: first edition* (1^{re} éd.). IUCN, International Union for Conservation of Nature. <https://doi.org/10.2305/iucn.ch.2020.08.en>
- Jouer à Cit'in crise – CIT IN CRISE. (s. d.). Consulté 31 mars 2025, à l'adresse <https://citincrise.mines-stetienne.fr/notre-offre/jouer/>
- Juul, J. (2003, janvier 1). *The game, the player, the world : Looking for a heart of gameness*. Proceedings of DiGRA 2003 Conference: Level Up. <https://doi.org/10.26503/dl.v2003i1.65>
- Keyline Design. (s. d.). RIDGEDALE FARM AB. Consulté 26 juillet 2025, à l'adresse <https://www.ridgedalepermaculture.com/keyline-design.html>

- Keyline Design – Initiative de gestion de l'eau agricole de la Californie.* (s. d.). Consulté 26 juillet 2025, à l'adresse https://agwaterstewards.org/practices/keyline_design/
- Khaled, R., & Vasalou, A. (2014). Bridging serious games and participatory design. *International Journal of Child-Computer Interaction*, 2(2), 93-100. <https://doi.org/10.1016/j.ijcci.2014.03.001>
- Kollmuss, A., & Agyeman, J. (2002). Mind the Gap : Why do people act environmentally and what are the barriers to pro-environmental behavior? *Environmental Education Research*, 8(3), 239-260. <https://doi.org/10.1080/13504620220145401>
- Laborde, P. J. P. (s. d.). *ELEMENTS D'HYDROLOGIE DE SURFACE.*
- Larousse, É. (s. d.). *Définitions : Motivation - Dictionnaire de français Larousse.* Consulté 31 juillet 2025, à l'adresse <https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/motivation/52784>
- Le Keyline Design.* (s. d.). Consulté 15 août 2025, à l'adresse <https://paysages-fertiles.fr/www/index.php/methodologie/le-keyline-design>
- Learning from indigenous and local knowledge : The deep history of nature-based solutions. (2021). In J. Cassin & B. F. Ochoa-Tocachi, *Nature-based Solutions and Water Security* (p. 283-335). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-819871-1.00012-9>
- Liobikienė, G., & Poškus, M. S. (2019). The Importance of Environmental Knowledge for Private and Public Sphere Pro-Environmental Behavior : Modifying the Value-Belief-Norm Theory. *Sustainability*, 11(12), 3324. <https://doi.org/10.3390/su11123324>
- LittoSIM | Simulation participative pour la sensibilisation des acteurs de l'aménagement du littoral face au risque de submersion marine.* (s. d.). Consulté 1 avril 2025, à l'adresse <https://littosim.hypotheses.org/>
- Mare tampon.* (s. d.). Syndicat des bassins versants Saône, Vienne et Scie ! Consulté 14 août 2025, à l'adresse <http://www.sbvsvs.fr/politique-urbaine/techniques-de-gestion-des-eaux-pluviales/mare-tampon/>
- Méganck, I. E. (s. d.). *Historique, perception et évolution du remembrement, en relation avec la politique agricole commune.* <https://memoireagriculturewallonie.wordpress.com/wp-content/uploads/2016/03/pdf-spw.pdf>
- Mehen Game Board.* (s. d.). The Fitzwilliam Museum. Consulté 30 juillet 2025, à l'adresse <https://www.fitzmuseum.cam.ac.uk/explore-our-collection/highlights/EGA44641943>
- Michael, D., & Chen, S. (2006). *Serious games : Games that educate, train, and inform.* Thomson Course Technology. https://www.researchgate.net/publication/234812017_Serious_Games_Games_That_Educate_Train_and_Inform
- Mission INONDATION le jeu vidéo qui sensibilise aux comportements à adopter en cas d'inondation.* (s. d.). Consulté 31 mars 2025, à l'adresse https://irma-grenoble.com/01actualite/01articles_afficher.php?id_actualite=764
- Nature-based solutions : Concept, opportunities and challenges | Think Tank | European Parliament.* (s. d.). Consulté 15 juillet 2025, à l'adresse [https://www.europarl.europa.eu/thinktank/en/document/EPRS_BRI\(2017\)608796](https://www.europarl.europa.eu/thinktank/en/document/EPRS_BRI(2017)608796)
- Norme mondiale de l'UICN pour les solutions fondées sur la nature | UICN.* (s. d.). Consulté 16 juillet 2025, à l'adresse <https://iucn.org/our-work/topic/iucn-global-standard-nature-based-solutions>
- Perreau, S., Pauchard, J.-C., & Hafiani, E. M. (2021). Développement durable : Définition, concept et construction historique. *Le Praticien en Anesthésie Réanimation*, 25(4), 175-180. <https://doi.org/10.1016/j.pratan.2021.08.007>
- Pijanowski, J. M., Wałęga, A., Książek, L., Strużyński, A., Goleniowski, K., Zarzycki, J., Kowalik, T., Bogdał, A., Wyrębek, M., & Szeremeta, K. (2022). An Expert Approach to an Assessment of the Needs of Land Consolidation within the Scope of Improving Water Resource Management. *Sustainability*, 14(24), Article 24. <https://doi.org/10.3390/su142416651>
- Piotte, O., Escudier, A., Puechberty, R., Lacaze, Y., Doukhan, L., & Witten, A. (2024). Consiliari : Un jeu sérieux au service des missions de référent départemental inondation (RDI). *LHB*, 110(1), 2334429. <https://doi.org/10.1080/27678490.2024.2334429>
- Reghezza-Zitt, M. (2023, avril). *Sociétés humaines et territoires dans un climat qui change. Du réchauffement climatique global aux politiques climatiques* (ISSN : 2492-7775) [Document]. Géoconfluences; École normale supérieure de Lyon. <https://geoconfluences.ens-lyon.fr/informations-scientifiques/dossiers-thematiques/changement-global/articles-scientifiques/rechauffement-climatique-politiques-climatiques>

- Remembrement foncier : Avantages du regroupement parcellaire. (s. d.). Consulté 29 juillet 2025, à l'adresse <https://www.meilleurconseilimmobilier.com/pourquoi-regrouper-plusieurs-parcelles-avec-un-remembrement-foncier/>
- Ripper Subsoiler Mini for Dimago Tractor 120 cm. (s. d.). Intermaquinas. Consulté 7 août 2025, à l'adresse <https://intermaquinas.es/en/subsoilers-for-tractor/subsoiler-ripper-mini-for-tractor-dimago-120-cm-260004>
- Ruissellement / érosion. (s. d.). SISN. Consulté 17 août 2025, à l'adresse <https://www.syndicat-sage-nonette.fr/actions/ruissellement-erosion/>
- Ryan, R. M., & Deci, E. L. (2000). Self-determination theory and the facilitation of intrinsic motivation, social development, and well-being. *The American Psychologist*, 55(1), 68-78. <https://doi.org/10.1037//0003-066x.55.1.68>
- Ryan, R. M., & Deci, E. L. (2020). Intrinsic and extrinsic motivation from a self-determination theory perspective : Definitions, theory, practices, and future directions. *Contemporary Educational Psychology*, 61, 101860. <https://doi.org/10.1016/j.cedpsych.2020.101860>
- Site internet du Parlement de Wallonie. (s. d.). Parlement de Wallonie. Consulté 14 août 2025, à l'adresse <http://www.parlement-wallonie.be>
- Taillandier, P., Chu, T. Q., & Lang, C. (2019). Using serious games to help stakeholders understand risk and promote disaster resilience. *Environmental Modelling & Software*, 111, 102-112.
- Tan, C. K. W., & Nurul-Asna, H. (2023). Serious games for environmental education. *Integrative Conservation*, 2(1), 19-42. <https://doi.org/10.1002/inc3.18>
- Tip van de Weideman : Geen mest op droog grasland. (2023, juin 15). Veeteelt. <https://veeteelt.nl/de-weideman/tip-van-de-weideman-geen-mest-op-droog-grasland>
- Travaux de génie écologique—Spécialiste de la biodiversité et de l'eau. (s. d.). Dervenn. Consulté 14 août 2025, à l'adresse <https://www.dervenn.com/domaines/travaux-de-genie-ecologique/>
- Vitikainen, A. (s. d.). *An Overview of Land Consolidation in Europe*. <https://journal.fi/njs/article/view/41504>
- V.R. (2025, août 17). *Un fossé pour protéger le lotissement « Le Maire » à Verlaine*. lavenir.net. <https://www.lavenir.net/regions/huy-waremme/verlaine/2023/11/21/un-fosse-pour-protoger-le-lotissement-le-maire-a-verlaine-MROEOJDAKVHO7CV6DEC5Y4HMDA/>
- Wang, D.-C., & Huang, Y.-M. (2023). Exploring the influence of competition and collaboration on learning performance in digital game-based learning. *Educational Technology Research and Development*, 71(4), 1547-1565. <https://doi.org/10.1007/s11423-023-10247-8>
- Xanthoulis, D., & Ledent, O. (1998). Effet du remembrement agricole sur le ruissellement et l'érosion. *Tribune du CEBEDEAU*, 592. <https://orbi.uliege.be/handle/2268/263578>