

# Rapport TER

Zink Tom - Saperès Clément - Nigh Kai - Bonetti Timothée

may 2025

## Table des matières

<b>1</b>	<b>Introduction</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Conception et recherches</b>	<b>4</b>
2.1	Planification . . . . .	5
2.2	Recherche documentaire . . . . .	6
2.2.1	AutoBiomes : procedural generation of multi-biome landscapes (2020) . . . . .	6
2.2.2	papier 2 . . . . .	8
2.2.3	papier 3 . . . . .	8
2.2.4	papier 4 . . . . .	8
<b>3</b>	<b>développement</b>	<b>9</b>
3.1	Génération de la carte . . . . .	10
3.2	Moteur de jeu . . . . .	13
3.2.1	Entity-component-system . . . . .	14
3.2.2	Notre moteur . . . . .	15
3.3	Implémentation de la caméra . . . . .	16
3.4	User Interface . . . . .	18
3.5	Assets . . . . .	19
3.6	Développement gameplay . . . . .	20
3.6.1	Mode "péon" . . . . .	20
3.6.2	Mode "seigneur" . . . . .	20
3.7	communication avec le backend . . . . .	21
<b>4</b>	<b>Conclusion</b>	<b>21</b>

# 1 Introduction

L'objectif de ce projet est de réaliser un jeu vidéo massivement multijoueur jouable directement depuis un navigateur web. Ce jeu propose deux modes de jeu bien distincts, offrant aux joueurs des expériences complémentaires :

- *Mode "Péon"* : le joueur incarne un personnage individuel et s'occupe d'actions élémentaires comme la collecte de ressources, la construction de bâtiments, ou d'autres tâches concrètes. Ces actions sont réalisées à travers des mini-jeux simples et interactifs.
- *Mode "Seigneur"* : le joueur ne contrôle pas directement un personnage, mais adopte une vue stratégique à l'échelle d'un royaume. Il donne des ordres aux péons en fonction des priorités et des besoins du territoire qu'il gouverne.

L'univers de jeu est composé de plusieurs royaumes, chacun dirigé par un seigneur différent. Ces royaumes sont en concurrence pour devenir la puissance dominante. Ce système s'inspire librement de la célèbre "Pixel War", un événement sur la plateforme Reddit ([r/Place](#)), où des milliers d'utilisateurs ont collaboré ou se sont affrontés pour s'approprier des espaces d'un immense canevas numérique. Bien que purement esthétique, cet événement a généré de véritables dynamiques sociales, entre alliances communautaires et rivalités de territoires. Notre ambition est de transposer ces dynamiques sociales dans un jeu structuré et compétitif, en donnant du sens aux interactions et aux conflits entre joueurs.

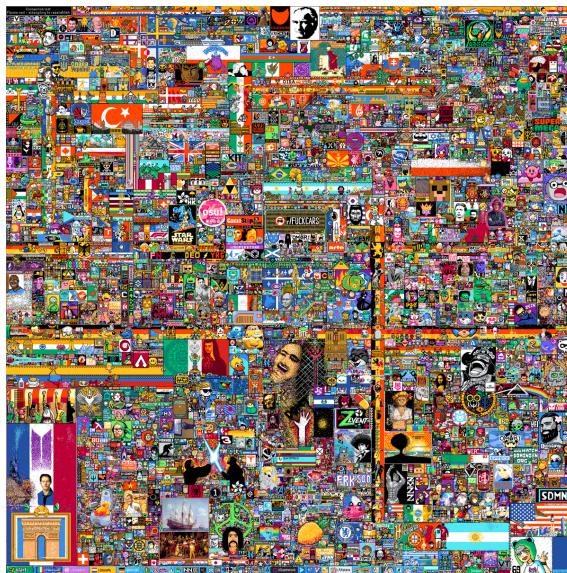


FIGURE 1 – Image finale de [r/Place](#)

**Étapes et collaboration** Ce projet, bien que complet en soi, est réalisé en collaboration avec un autre groupe de TER ayant développé un backend scalable destiné à supporter des applications en ligne à fort trafic. Cette coopération nous permet de nous concentrer sur le développement du frontend, tout en assurant une infrastructure serveur solide et adaptée à un jeu massivement multijoueur.

**Défis identifiés** Avant même de commencer le développement, nous avons identifié plusieurs défis techniques et conceptuels majeurs :

- Générer une carte procédurale intégrant différentes ressources.
- Choisir une technologie adaptée au développement web interactif (WebGL, WebSockets, etc.).
- Concevoir un moteur de jeu simple et modulaire.
- Développer une interface utilisateur intuitive et réactive.

- Créer des mini-jeux simples mais engageants pour les actions de type Péon.
- Équilibrer les deux modes de jeu (Péon / Seigneur) pour garantir une jouabilité équitable et cohérente.
- Assurer une communication fluide et sécurisée entre frontend et backend.
- Créer ou intégrer des assets graphiques adaptés à l'univers du jeu.

**Portée du projet (MVP)** Ce projet est ambitieux, et il serait irréaliste de livrer une version complète, stable et publiable dans le temps imparti. C'est pourquoi notre objectif est de développer un *prototype fonctionnel* (MVP – Minimum Viable Product). Ce MVP se concentrera sur l'essentiel : la mise en œuvre des deux modes de jeu, l'interaction avec une carte interactive, et la connexion avec le backend pour la gestion en temps réel des actions des joueurs. Il servira de base pour valider les choix techniques, les mécaniques de gameplay, et les dynamiques collectives que nous souhaitons créer. Ce projet sera continué à la suite de ce rendu dans le but de réellement le lancer en ligne.

**Problématique** *Comment concevoir un prototype fonctionnel de jeu massivement multijoueur sur navigateur qui permette de valider les dynamiques de coopération et de stratégie entre joueurs, tout en intégrant de manière cohérente et interactive deux modes de jeu complémentaires (Péon et Seigneur) ?*

## **2 Conception et recherches**

## 2.1 Planification

**Planification et partage des tâches** La planification de notre projet a été structurée en quatre grandes phases : la recherche et la conception, la création du jeu, le développement des fonctionnalités en ligne, et la phase de finalisation. Le diagramme de Gantt ci-dessous illustre cette répartition temporelle et thématique.

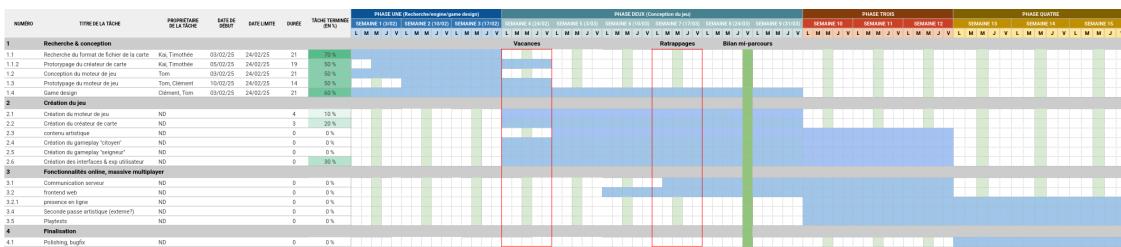


FIGURE 2 – Diagramme de Gantt

Dès le début, nous avons identifié trois objectifs fondamentaux : développer un outil de génération de carte en C++, établir les bases du moteur de jeu en TypeScript (notamment à l'aide de la bibliothèque Three.js), et définir le design général du jeu. En conséquence, les tâches ont été réparties selon les affinités et compétences de chacun : Tom Zink a pris en charge le développement du moteur de jeu, Clément Saperes s'est concentré sur le game design, tandis que Kai Night et Timothée Bonetti ont collaboré sur l'outil de création de carte.

Les premières semaines ont été majoritairement dédiées à cette phase de recherche et de prototypage. Une fois ces bases posées, la deuxième phase du projet consistait à réunir les différents composants pour créer un gameplay cohérent (incluant les rôles « citoyen » et « seigneur »), concevoir les interfaces utilisateurs et assurer une interactivité fluide.

**Imprévus** Cependant, cette intégration s'est révélée plus complexe que prévu. Plusieurs obstacles ont freiné notre progression : une méconnaissance initiale de certaines technologies clés (notamment TypeScript et Three.js), le manque de bibliothèques satisfaisantes pour la création d'interfaces web, ainsi que des difficultés à coordonner notre travail en raison d'emplois du temps peu compatibles. Ces contraintes ont nécessité une réévaluation continue de nos priorités et ont impacté l'avancement de certaines tâches, comme en témoigne le taux d'achèvement partiel de certaines activités dans le diagramme. Nous reviendrons plus en détail sur ces difficultés dans les sections suivantes de ce rapport.

## 2.2 Recherche documentaire

### 2.2.1 AutoBiomes : procedural generation of multi-biome landscapes (2020)

**Approche proposée pour la génération procédurale de terrains** Les auteurs présentent un système de génération procédurale de terrain combinant trois types d'approches : synthétique, physique et exemple-based (basée sur des exemples). L'objectif est de créer des paysages étendus, composés de différents biomes et peuplés de nombreux éléments.

Le système repose sur un pipeline, structuré en quatre étapes principales. Chaque étape peut être visualisée directement, ce qui améliore la facilité d'utilisation. Chaque étape est placée sur une grille comme présenté dans le figure ci dessous. Ce design offre un bon compromis entre les exigences souvent opposées : performance, réalisme, flexibilité. Voici les différentes étapes de ce pipeline :

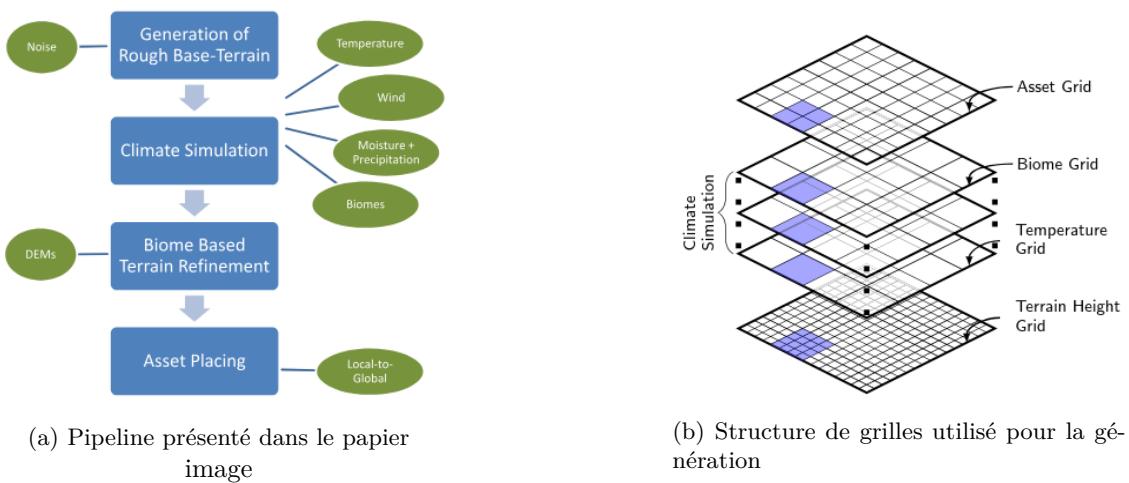


FIGURE 3 – Images tirés du papier

**Terrain de Base** Généré à l'aide de fonctions de bruit, notamment du simplex noise multi-octaves. Cela permet une création rapide et flexible d'un terrain général, sans se soucier des détails réalistes dès cette étape. L'utilisateur peut ajuster les paramètres, comme le nombre d'octaves ou le seuil de niveau de la mer.

**Simulation climatique** Cette étape a pour but de calculer la distribution des biomes la plus réaliste possible. Pour cela aucun bruit n'est utilisé mais une approche basée sur la physique a été choisie elle reste simple pour qu'elle soit relativement rapide contrairement à d'autres méthodes basées sur la simulation physique. Elle se compose de 4 étapes :

- **Température** : Calculée par interpolation bilinéaire ou sinusoïdale, en prenant en compte l'altitude (plus c'est haut, plus c'est froid). Cela permet d'avoir un gradient entre régions chaudes et froides.
- **Vent** : Le vent est simulé en définissant des forces aux quatre coins de la carte. Une approche itérative propage les directions de vent dans un champ vectoriel, en combinant les directions des cellules voisines et en ajoutant de petites perturbations aléatoires pour simuler les micro-variations. La proximité d'un coin renforce la persistance de son influence, produisant ainsi un lissage réaliste ou des annulations aux frontières entre courants principaux.
- **Précipitations** : La répartition des précipitations est calculée de manière itérative, en utilisant les données de vent et de température. Les cellules d'eau servent de sources d'humidité, avec une évaporation dépendant de la température. L'humidité est ensuite transportée par le vent vers les cellules voisines, avec une dispersion partielle vers les cellules adjacentes. Cette méthode permet de simuler des phénomènes plus avancés comme les ombres pluviométriques ou l'effet de foehn.

- **Placement des biomes** : Calcul de la grille de Biomes en fonction des propriétés calculées, en particulier la température et les précipitations. À chaque paire de valeurs température-précipitation est ainsi associé un identifiant de biome spécifique, selon une table.

**Enrichissement du terrain** : Pour enrichir le terrain de base, les auteurs utilisent une approche par exemple en intégrant des DEMs (modèles numériques d'élévation) spécifiques à chaque biome, tirés de sources disponibles publiquement. Les DEMs sont une représentation numérique de la hauteur du terrain sur une surface donnée, généralement sous forme d'une grille régulière où chaque cellule contient une valeur d'altitude. Cette méthode offre un réalisme élevé avec peu d'efforts. Pour obtenir des transitions naturelles entre biomes, les frontières sont déformées avec du bruit fractal (simplex noise), générant une grille de biomes à plus haute résolution. Ensuite, une convolution avec un noyau réglable permet de mélanger les DEMs voisins selon la proportion de chaque biome dans la zone. Le résultat est une somme pondérée des DEMs, fusionnée au terrain de base pour produire une carte de hauteur finale réaliste et cohérente.

**Placement d'objets** : Dans la dernière étape, les biomes sont peuplés par des objets 3D (assets) placés selon un modèle itératif. Ce modèle permet des distributions naturelles et adaptables aux transitions entre biomes. Les objets sont sélectionnés depuis une base d'assets (arbre, rocher, etc.), chacun possédant des propriétés spécifiques (ex. : tolérance à l'ombre, distance minimale, etc.). Le placement se fait via un échantillonnage de type Poisson-disk, adapté pour gérer des distributions complexes avec contraintes. Les objets sont traités par catégories (organique/inorganique, petite/grande taille) pour une répartition plus réaliste. On obtient une répartition uniforme et performante d'objets sur le terrain généré.

**Résultats obtenus** Voici les résultats présentés par les auteurs :

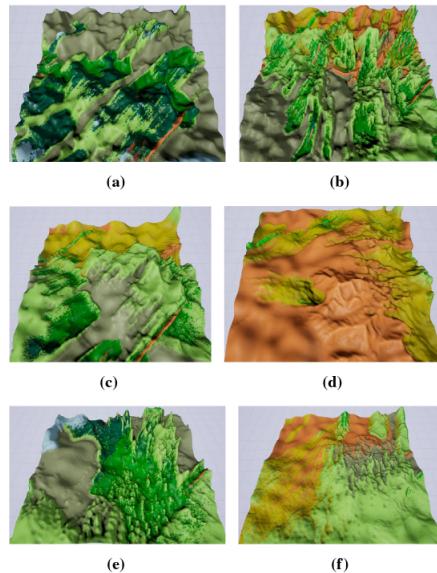


FIGURE 4 – Un ensemble de terrains différents générés avec différents paramètres

**Conclusion** Ce papier présente une méthode intéressante pour la génération de terrain et de placement d'objets mais nous n'avons pas décidé de suivre cette méthode pour notre projet, celle-ci est complexe et les résultats présentés ne nous ont pas convaincus. En effet pour une méthode qui met l'accent sur le réalisme nous trouvons les résultats trop aléatoires et peu esthétiques. Nous avons quand même utilisé certaines idées comme la table en fonction de l'élévation et de l'humidité pour les biomes.

**2.2.2 papier 2**

**2.2.3 papier 3**

**2.2.4 papier 4**

## 3 développement

### Choix de développement

- Le développement de notre projet repose sur l'articulation de deux composants logiciels bien distincts, chacun répondant à des besoins spécifiques et complémentaires. D'une part, nous avons conçu un outil de génération de terrain procédural développé en **C++**. Ce programme est chargé de produire automatiquement des cartes de jeu structurées, de taille paramétrable, intégrant différents *biomes* (zones géographiques thématiques telles que forêt, montagne, désert, etc.) ainsi qu'un positionnement intelligent et configurable des ressources (comme le bois, la pierre ou l'or).
- Cet outil de génération doit également produire des données dans un format structuré et exploitable par le second programme du projet : un **moteur de jeu** léger, développé en **TypeScript** et reposant sur la bibliothèque **Three.js**, capable de tourner directement dans un navigateur web. Ce moteur assure l'affichage de la carte, la gestion de l'interaction utilisateur (notamment en mode Péon), et l'intégration des mécanismes de jeu à travers une interface en ligne fluide et réactive.
- Le choix de cette architecture repose à la fois sur des considérations techniques (performance, portabilité, modularité) et sur des contraintes pédagogiques liées à notre formation. Le développement de la génération procédurale en C++ nous permet de capitaliser sur notre expérience en programmation C++, tandis que le moteur de jeu web représente un défi plus orienté front-end, mobilisant des compétences en visualisation 3D interactive dans un contexte que nous maîtrisons peu au départ. Il s'agit donc également d'une opportunité d'apprentissage significative, puisque nous avons dû nous apprivoier rapidement des outils comme Three.js ou encore les principes de développement web modernes, dans un cadre concret et motivant.
- Le choix de TypeScript plutôt que JavaScript pur s'explique par notre volonté de bénéficier d'une meilleure robustesse dans le code, grâce au typage statique et à une meilleure maintenabilité à mesure que le projet grandit. Cette décision s'inscrit dans une logique de professionnalisation du développement et d'anticipation des besoins futurs en matière d'évolutivité.
- La communication entre les deux programmes (générateur C++ et moteur TypeScript) repose sur une série de fichiers intermédiaires, permettant une séparation claire des responsabilités tout en assurant une interopérabilité efficace. Ainsi, notre projet s'organise autour d'un pipeline de production modulaire : génération des données brutes d'un côté, exploitation visuelle et interactive de l'autre.

### 3.1 Génération de la carte

Pour ce projet nous voulions créer un outil pour créer une carte procéduralement. Pour cela nous avons écrit un programme en C++ qui crée un fichier .OBJ à partir de cartes de bruits.

**Cartes de bruits** Une carte de bruit, ou "noisemap", dans le contexte de la génération procédurale, est une technique utilisée pour créer des textures, des terrains ou des environnements de manière algorithmique. Les noisemaps dans la génération procédurale sont utilisées pour introduire des variations naturelles et réalistes dans les modèles générés par ordinateur.

La génération d'une noisemap implique l'utilisation de fonctions de bruit, telles que le bruit de Perlin, le bruit de Simplex ou d'autres algorithmes de bruit procédural. Ces fonctions génèrent des valeurs pseudo-aléatoires qui varient de manière continue et douce à travers l'espace. L'utilisation la plus élémentaire de ce genre de cartes et de lier l'élévation du terrain aux valeurs de la carte de bruit.



FIGURE 5 – Visualisation de Carte de bruit

Nous pouvons manipuler l'aléatoire des fonctions qui génèrent ce genre de carte grâce à différents paramètres :

- La fréquence dans le contexte des fonctions de bruit, comme le bruit de Perlin, détermine la granularité ou la finesse des détails dans la carte de bruit générée. Une fréquence élevée signifie que les variations de bruit se produisent plus rapidement, ce qui entraîne des détails plus fins et plus nombreux dans la carte. À l'inverse, une fréquence basse produit des variations plus lentes et plus douces, résultant en des caractéristiques plus larges et moins détaillées.
- Les octaves sont utilisées pour ajouter de la complexité et du réalisme aux cartes de bruit. Chaque octave est une couche supplémentaire de bruit générée à une fréquence différente. En superposant plusieurs octaves, on peut créer des textures plus riches et plus variées. Les octaves sont généralement ajoutées avec des fréquences de plus en plus élevées et des amplitudes de plus en plus faibles.

#### Effet sur la Carte Générée

- *Fréquence Basse* : Une fréquence basse produit des caractéristiques larges et douces. Par exemple, dans la génération de terrains, une fréquence basse peut créer des collines et des vallées larges et douces.
- *Fréquence Élevée* : Une fréquence élevée produit des détails fins et nombreux. Par exemple, dans la génération de terrains, une fréquence élevée peut ajouter des rochers, des crevasses et d'autres détails fins à la surface.
- *Octaves Multiples* : L'utilisation de plusieurs octaves permet de combiner des caractéristiques larges et douces avec des détails fins. Par exemple, une première octave avec une fréquence basse peut créer les grandes formes du terrain, tandis que des octaves supplémentaires avec des fréquences plus élevées ajoutent des détails fins comme des rochers et des textures de surface.

Voici des exemples en images de la différence.



FIGURE 6 – Comparaison de niveau de fréquences

**Génération de biomes** Sur notre carte nous voulons différents biomes c'est à dire différents environnements repartis le plus naturellement possible. Pour cela en plus de la carte de bruit qui va gérer l'élévation du terrain nous allons générer une autre carte de bruit qui va simuler l'humidité du milieu. En combinant ces deux cartes on peut obtenir des biomes plutôt cohérents. En plus de cela nous pouvons définir une élévation minimale qui va permettre de créer des océans. Enfin nous avons défini une aire de jeu circulaire au milieu de la carte celle-ci sera plate mais utilisera quand même les noisemap pour gérer les biomes.

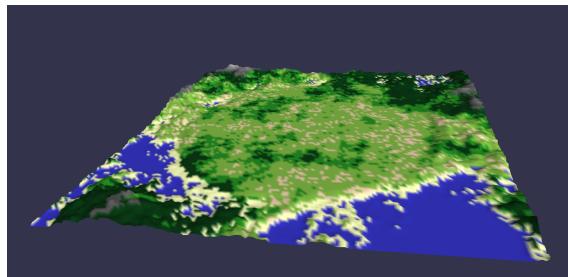


FIGURE 7 – Une carte générée avec notre code

**Placer des ressources** Un autre défi de la création de la carte est de placer des ressources sur la carte en favorisant les potentielles interactions entre les royaumes, c'est à dire créer des ressources qui seront rares et ne pas les répartir de manière uniforme pour obliger les royaumes à interagir entre eux. Si on prend simplement des positions aléatoires sur la carte par exemple on se retrouve avec un résultat trop uniforme on aimerait avoir une génération avec des trous et des endroits plus concentrés. La solution que nous avons trouvé pour cela ce sont les "Jittered grid" on peut traduire cela par "grille perturbée". Le principe est de générer une grille carrée ou hexagonale et d'appliquer une perturbation aux points de la grille. Voici le résultat.

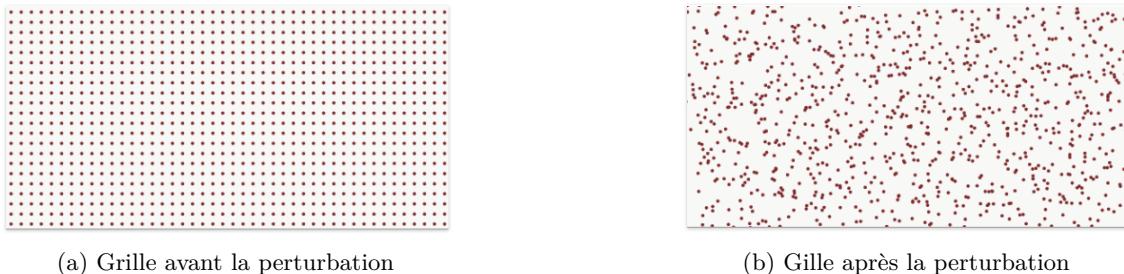


FIGURE 8 – Visualisation de jittered grid

On voit apparaître des zones avec peu de points et d'autres avec beaucoup de points.

**Résultat sur la carte** Les triangles violets représentent les positions des ressources.

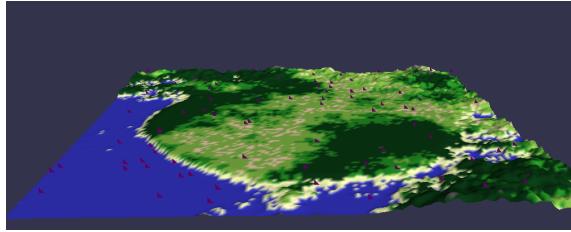


FIGURE 9 – Carte avec position de ressources générées

Il suffira de re-exécuter ce code le même nombre de fois que de ressources. Les emplacements des ressources sont enregistrés dans un fichier csv qui pourra être lu par le moteur de jeu.

**Importation sur le moteur** Une fois la carte générée grâce à cet outil développé en C++ il faut l'importer sur notre moteur fait maison en TypeScript (Nous en parlons en détail dans la prochaine section). Pour cela nous avons l'option d'enregistrer la carte générée au format OBJ pour la géométrie, on peut récupérer également la texture des couleurs. Pour les ressources l'objectif étant qu'elles puissent être chargées par le serveur et pas directement par le frontend. Pour cela les coordonnées de la ressource sont simplement enregistrés sur un fichier csv qui n'enregistre que ses coordonnées en 2D (x et y) et son type :

```
tree,1.61432,2.03902
tree,1.60876,2.0844
tree,1.61334,2.12896
tree,1.61054,2.16839
tree,1.60979,2.48438
tree,1.61826,2.48242
rock,2.46094,1.875
rock,2.5,-1.44531
rock,2.5,-1.25
rock,2.5,1.32812
gold,-2.46094,-1.48438
gold,-2.46094,-1.21094
gold,-2.30469,1.83594
```

Pour le moment nous allons charger et rendre les ressources directement dans le frontend chose qui sera changé à terme.

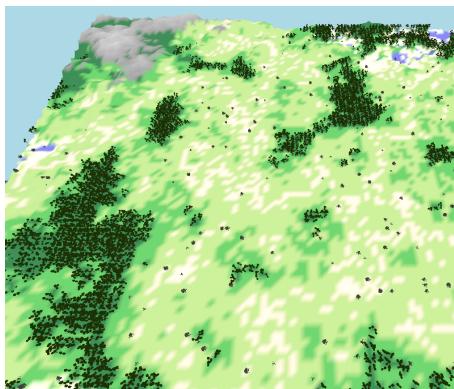


FIGURE 10 – La carte et les ressources sur le moteur maison

## 3.2 Moteur de jeu

**Technologies** L'objectif étant de créer un jeu par navigateur, nous avons dû choisir entre trois approches distinctes :

- **Moteur de jeu existant et export HTML5**

Avec cette méthode, nous utilisons un moteur de jeu (par exemple, Godot ou Unity) pour développer le jeu puis l'exporter en HTML5. Cependant, cela nous donne moins de contrôle sur les performances et les capacités de notre jeu.

- **typescript + ThreeJS**

*typescript* est une surcouche de javascript permettant un typage fort et une programmation par classe plus solide. *ThreeJS* est une librairie javascript permettant de faire de la 3D sur navigateur (*voir WebGL*) Cette méthode nous oblige à créer beaucoup plus de choses de zéro, mais elle nous offre aussi davantage de contrôle sur le résultat et est la plus intéressante d'un point de vue pédagogique.

- **Angular + ThreeJS**

*Angular* est un framework en typescript pour la création de sites web. Il propose extension pour fonctionner avec *ThreeJS*. Cette méthode nous facilite la création d'interfaces utilisateur et la gestion de la partie web en général. Cependant, cela entraîne un coût en temps de formation et en performances.

Comme nous sommes des élèves d'Imagine, nous avons décidé de partir sur la deuxième option. C'est celle qui nous permet le mieux de mettre en action et d'améliorer nos compétences. De plus, cela nous donne l'occasion d'apprendre le développement web orienté 3D et applications interactives.

**Le design d'un moteur de jeu** La manière classique de structurer un jeu vidéo (ainsi que la majorité des applications 3D interactives) est par l'usage d'un concept d'**entité de jeu**. Classiquement, une entité a une existence dans le monde du jeu, par exemple, une montagne, un personnage, une zone qui détecte d'autres entité, etc.

Les entités sont souvent organisées de manière hiérarchique dans une structure arborescente appelée **Graphe de scène**. Une entité qui est enfant d'une autre hérite généralement de sa transformation 3D : en d'autres termes, les mouvements de l'entité parente sont répercutés sur l'entité enfant (un chevalier qui court entraîne aussi l'épée qu'il tient en main). D'autre part, ces entités sont spécialisées selon leur utilité : une porte, un zombie ou une explosion nécessitent un traitement différent de la part du développeur.

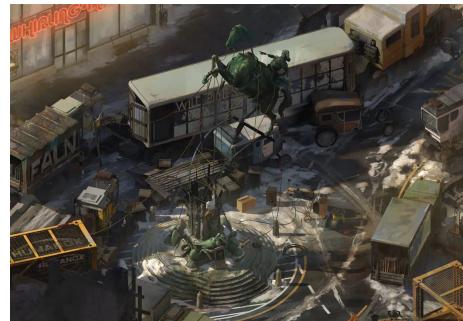
La méthode d'implémentation du graphe de scène et des entités varie beaucoup selon le moteur :

- *Gamebryo*, un moteur de jeu sorti en 1998 et sur lequel sont basés plusieurs moteurs récents (par exemple, celui du jeu *Skyrim*), utilise une hiérarchie d'entités qui peuvent hériter de la transformation et d'autres propriétés de leur parent. Il est par ailleurs possible d'ajouter des comportement aux entités en *LUA* ou en *C++*
- *Godot* utilise un graph de "Noeuds". Chaque noeud est une classe héritée de la classe *Node* lui donnant des comportement spécifiques (par exemple, "corps de simulation physique" ou "maillage 3D").
- *Source Engine* sépare les objets du monde en deux catégories, les objets "Monde", qui sont statiques, et les objets "Entité", qui requiert l'exécution régulière de leur logique (customisable en *LUA*)
- *Unity* utilise un arbre de *Gameobjects*, lesquels contiennent une liste de composants. Les composants spécialisent le comportement de l'objet.
- *Dark Engine*, un autre moteur publié en 1998 et utilisé notamment pour les jeux *System Shock 2* et *Thief*, utilise une architecture entity-component-system, dont nous expliquerons le fonctionnement plus tard.

Pour faire notre choix parmi toutes ces possibilités (et davantage encore!), nous avons dressé un cahier le cahier des charges de notre jeu : Tout d'abord, nous devions pouvoir afficher et mettre à jour **plusieurs centaines d'entités** sans chute majeure de performances. Nous avions besoin



(a) Thief, 1998 utilise une architecture ECS



(b) Disco Elysium, 2019, utilise une architecture Entity-Component sur le moteur Unity

de pouvoir recevoir du serveur un **flux constant** de données et de le propager dans le jeu. Nos entités seraient peu complexes (non-nécessité d'une hiérarchie d'entités), et peu variées dans leur logique (préférence pour une approche *data-driven*).

### 3.2.1 Entity-component-system

L'architecture Entité-Composant-Système (souvent abrégé ECS) est une architecture permettant de décrire des entités en séparant totalement les données des traitements. Comme son nom l'indique, l'ECS est basé sur trois concepts clés :

- **Les entités** (dans le jargon ECS) représentent exactement ce que l'on a appelé jusqu'ici "entité" : *quelque chose* qui est dans le monde du jeu. Par elles mêmes, elles ne contiennent ni logique ni donnée, mais elles sont chacune associées à un ensemble de composants.
- **Les composants** sont des conteneurs de données typés. Leur type indique la fonction de leurs données. Par exemple, un composant 'Rendu' pourra contenir un maillage 3D et un composant 'Transformation', une matrice de  $M_4(\mathbb{R})$ . Les composants ne contiennent aucune logique, mais c'est les systèmes qui vont exploiter leurs données.
- **Les systèmes** sont des fonctions qui agissent sur les entités de manière régulière ou ponctuelle. Chaque système n'agit que sur un sous-ensemble des entités qui possèdent les composants nécessaire à l'application du système. Par exemple, un système "Affichage3D" pourrait agir sur toutes les entités ayant au moins les composants "Rendu" et "Transformation".

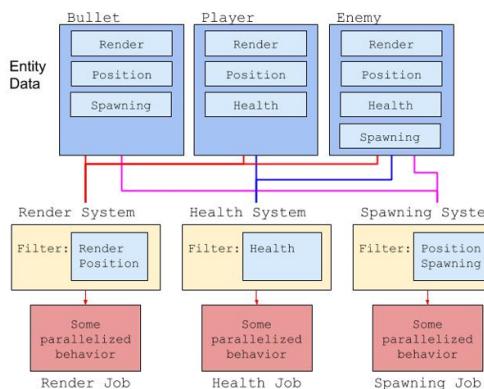


FIGURE 12 – Diagramme produit par Intel illustrant une architecture ECS

Les avantages de l'ECS sont aussi nombreux que ses problèmes. La centralisation des traitements permet de gagner en performance lorsque le nombre d'entités est bien plus grand que le nombre de systèmes (donc que chaque système agit sur beaucoup d'entités en moyenne). En outre, la

concentration des données dans les composants permet une approche *data-driven*<sup>1</sup>. D'un autre côté, pour des cas d'utilisation avec peu d'entités et beaucoup de variance dans la logique de traitement, l'ECS est peu souhaitable car il est moins intuitif à utiliser que la plupart des alternatives, et les gains de performance sont moindres voire négatifs.

Nous utilisons une architecture ECS car ses forces coïncident avec notre cas d'utilisation : Traitement de beaucoup d'entités avec un nombre de traitement relativement restreint, et spécialisation d'un grand nombre d'entités par une approche orientée-données.

### 3.2.2 Notre moteur

Pour rappel, nous avons choisi de développer notre propre moteur en *typescript*, en utilisant la librairie de rendu 3D *ThreeJS*.

ThreeJS nous offre une interface haut niveau vers le WebGL. En d'autres termes, on lui délègue le rendu graphique. Cependant, le reste des concepts servant de base au jeu doivent être implémentés par nos soins. On décide de créer un moteur de jeu basique, spécialisé pour le jeu que l'on crée (en opposition à un moteur généraliste comme Godot ou Unreal Engine). Ce moteur est composé de plusieurs modules :

- **ECS**
- **Components**
- **Systems**
- **Input**
- **User Interface**
- **Game**

Ces modules fonctionnent ensemble pour fournir une base solide à la création du jeu. Expliquons chacun d'eux en détails.

**ECS** Notre implémentation de l'architecture ECS est basée sur [cet article de 2021 écrit par Maxwell Forbes](#). Les entités sont simplement représentées par un entier. La classe *ECS* lie ces identifiants à un ensemble d'objets héritant de *Component*. La classe *ECS* contient aussi l'ensemble des systèmes.

Quand un système, une entité ou un composant est ajouté(e) ou enlevé(e) l'ECS, la liste des entités concernées par chaque système est mise à jour. Une fonction permet d'appliquer le traitement de chaque système aux entités concernées. Voici un exemple-jouet d'utilisation de notre système ECS pour faire rebondir des objets sur le sol.

#### TODO EXEMPLE DE CODE

Nous définissons une liste de composants et systèmes "*Core*" : des éléments généraux et fondamentaux au jeu. Comme notre moteur est très lié à notre jeu, cette frontière n'est pas toujours claire, par exemple, le code de synchronisation avec le serveur et le code d'interaction joueur-monde sont tous deux définis dans le jeu. Ils seront explicités dans la partie suivante qui portera sur le jeu en lui-même.

**Components (*Core*)** TODO

**Systems (*Core*)** TODO

**Input** TODO

**Game (Classe)** TODO

---

1. "régie par les données". Paradigme de programmation où les données sont spécifiées en amont des traitements. Le langage de transformation XML [XSLT](#) en est un exemple.

### 3.3 Implémentation de la caméra

Le contrôle de la caméra dans notre jeu repose sur un système d'interactions combinées entre le clavier et la souris. Afin de centraliser la logique, nous n'utilisons qu'un seul objet caméra, dont le comportement varie légèrement en fonction du mode de jeu actif. Un paramètre dédié permet de définir le *mode de caméra* courant, influençant certaines actions ou limites de mouvement. Nous distinguons actuellement trois modes principaux :

<https://www.youtube.com/watch?v=Lqe8gNZgmzo>

- **Mode Seigneur** : la caméra adopte une vue en 3/4 légèrement inclinée et ne peut pas zoomer au-delà d'une certaine valeur minimale, assurant une vue stratégique du royaume.
- **Mode Carte-Monde** : la caméra est orientée plus verticalement, comme une carte vue de dessus. Le zoom est limité vers le haut afin de conserver une vision globale et simplifiée du monde. Ce mode est conçu pour la navigation macro entre les différents royaumes ou zones.
- **Mode Péon** similaire au mode Seigneur dans sa présentation, il ajoute cependant un suivi automatique du personnage contrôlé par le joueur. Contrairement au mode Seigneur, ce mode repose sur l'existence d'un avatar jouable.

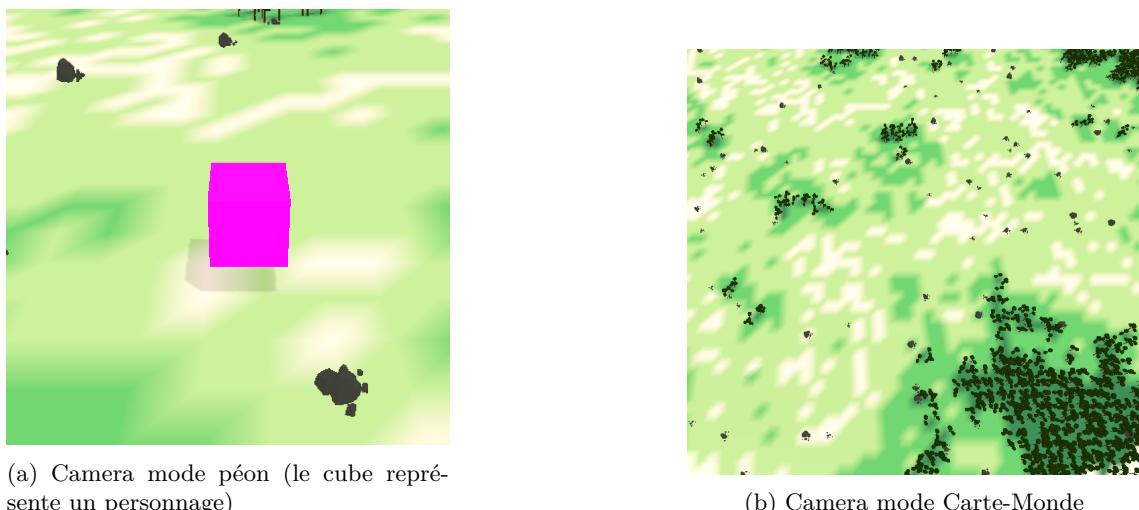


FIGURE 13

Le déplacement latéral de la caméra est déclenché par la position de la souris : lorsqu'elle s'approche des bords de l'écran, la caméra se déplace dans la direction correspondante. La vitesse de déplacement est proportionnelle à la proximité du curseur avec le bord, rendant le contrôle plus intuitif.

La recentrage de la caméra est possible à tout moment via les touches **Espace** ou **C**. La cible de recentrage dépend du mode : il s'agit de la position du personnage joueur en mode Péon, ou d'un point arbitraire prédéfini en mode seigneur.

Le zoom est géré via la molette de la souris, modifiant uniquement l'altitude de la caméra. Cette variation de hauteur déclenche également un **changement automatique de mode** lorsque certaines valeurs seuils sont franchies. Par exemple, un dézoom important bascule la caméra en mode Carte-Monde, tandis qu'un zoom vers l'avant permet de revenir au mode Seigneur ou Péon. Ce système de transition continue renforce la fluidité de la navigation et justifie l'utilisation d'une unique caméra partagée entre les modes.

Afin de garantir une transition naturelle entre les modes, nous avons mis en place une **zone de seuil élargie** : la caméra entre en mode Carte-Monde uniquement après avoir dépassé une limite haute, et ne revient au mode précédent qu'après avoir atteint une limite basse, évitant ainsi les basculements trop fréquents ou brusques.

Les paramètres relatifs au comportement de la caméra, comme la vitesse de déplacement, les seuils de zoom, ou encore les marges de détection des bords d'écran, sont définis sous forme de constantes, ce qui permet de les ajuster facilement sans avoir à modifier la logique du code.

Enfin, un problème rencontré concernait le comportement de la souris en dehors du canvas du jeu. Lorsque l'utilisateur navigue sur d'autres onglets ou déplace le curseur hors de la fenêtre, la caméra pouvait continuer à se déplacer involontairement. Nous avons donc ajouté une détection explicite de sortie de l'écran, désactivant temporairement le contrôle de la souris jusqu'à son retour dans l'aire de jeu.

En conclusion, nous avons conçu une caméra simple mais polyvalente, capable de s'adapter aux différents contextes de jeu tout en assurant une expérience utilisateur fluide et agréable. Ce système unifié facilite aussi les transitions visuelles et renforce la cohérence entre les différentes phases de gameplay.

### 3.4 User Interface

Plusieurs librairies d'interface utilisateur existent. Après une recherche extensive, aucune n'a semblé satisfaisante. L'un des *motto* du projet est de faire les choses simplement et efficacement, ce qu'aucune librairie candidate ne semblait faire.

C'est pourquoi nous avons choisi de créer notre propre solution d'interfaces utilisateur.

TODO élément c'est ta partie hehe

### 3.5 Assets

En complément des fichiers générés par notre outil de génération procédurale de carte, il nous était indispensable de disposer d'**objets 3D** pour représenter visuellement les différentes entités du jeu : ressources naturelles (arbres, rochers, gisements), bâtiments (maisons, ateliers, casernes, etc.), personnages (Péons), et autres éléments décoratifs ou interactifs. Ces assets constituent la base visuelle qui donne vie à notre monde virtuel et permettent de proposer une expérience immersive et cohérente aux joueurs.

Compte tenu du temps limité imparti au projet et de nos ressources humaines, nous avons fait le choix stratégique de **ne pas modéliser nous-mêmes ces objets 3D**. En effet, la création d'assets personnalisés demande non seulement des compétences artistiques spécifiques (modélisation, texturage, rigging), mais également un temps de production non négligeable que nous avons préféré consacrer au développement technique et fonctionnel du jeu.

Nous nous sommes donc tournés vers des bibliothèques en ligne proposant des modèles 3D libres de droits. Après quelques recherches, nous avons sélectionné une collection d'objets au style **low poly**, à la fois léger à afficher et esthétiquement cohérent avec notre direction artistique. Le style low poly a en outre l'avantage d'être performant pour le rendu en temps réel dans un navigateur, tout en gardant une identité visuelle marquée et facilement identifiable.



FIGURE 14 – Exemples d'assets low poly utilisés

Ces assets ont été intégrés dans le moteur de jeu.

**Limites et perspectives** Même si cette solution nous a permis de gagner un temps considérable, elle présente certaines limites. Tout d'abord, le style visuel du jeu dépend actuellement de ressources externes que nous ne maîtrisons pas totalement. Ensuite, l'uniformité graphique peut parfois être compromise si les assets proviennent de sources différentes. Enfin, l'utilisation de modèles génériques réduit la capacité à représenter

## 3.6 Développement gameplay

### 3.6.1 Mode "péon"

**Mini-jeux** Les joueurs péons s'occupent de récupérer les ressources de construire les bâtiments. Il faut donc intégrer ces mécaniques dans le jeu. Plutôt que de simplement cliquer sur un arbre pour récupérer le bois par exemple nous avons décidé d'intégrer des mini-jeux très simples. Ces mini-jeux sont de toutes nouvelles scènes TREEjs qui se trouvent en dehors du système ECS. Quand un joueur interagi avec une ressource ou autre interaction du genre, une fenêtre de mini-jeu s'ouvre au centre de son écran. Le mini-jeu diffère en fonction de l'action à accomplir et plus on fait bien le mini-jeu plus on obtient de ressources. Par exemple pour la coupe du bois, plus vous faites d'aller retour avec votre souris plus vous obtiendrez de bûches comme si la souris était une scie.

### 3.6.2 Mode "seigneur"

### **3.7 communication avec le backend**

## **4 Conclusion**