

MOLETTE PROD

RAPPORT DE PROJET FINAL

PAC-MAN VR



Matthieu BOLLIAND

E-mail :

Nicolas COTONI

moletteprod-support@pacmanvr.fr

Benoît FLAMAND

Site web :

Valentin ROBIN

pacmanvr.fr



MAI 2018

Table des matières

1	Introduction	3
2	Reprise du cahier des charges	4
2.1	Origines du jeu	4
2.2	Ses modifications	5
2.3	Planning	6
2.4	Réseau	8
2.5	Évolution de la répartition des tâches	9
2.6	Gameplay	11
2.6.1	Site web	12
3	Réalisation personnelles	13
3.1	Nicolas Cotonni	13
3.1.1	Intelligence Artificielle	13
3.1.2	Gameplay	17
3.1.3	Réseau	19
3.2	Matthieu Bolliand	21
3.2.1	Partie théorique	21
3.2.2	Intelligence artificielle	23
3.2.3	Audio	28
3.3	Benoît Flamand	29
3.3.1	Site Web	29

3.3.2	Intelligence artificielle, réseau et graphisme	32
3.4	Valentin Robin	33
3.4.1	Graphisme & Interface	33
3.4.2	Site Web	37
3.4.3	Gameplay	38
3.5	Ressentis personnels	39
3.5.1	Nicolas Cotonni	39
3.5.2	Matthieu Bolliand	39
3.5.3	Benoît Flamand	40
3.5.4	Valentin Robin	40
4	Conclusion	41
5	Annexes	45
5.1	Exemple de recherche du chemin	45
5.1.1	Etape 1	45
5.1.2	Etape 2	46
5.1.3	Etape 3	46
5.1.4	Etape 4	47
5.2	Menu du jeu	48
5.3	Gameplay première personne	49

1 Introduction

Dans le cadre de notre projet de second semestre à EPITA, il nous a été demandé d'entreprendre la conception d'un programme informatique par groupe de quatre. Nous avons choisi de faire un jeux vidéo en intégrant les tendances actuelles en créant ainsi Pac-Man en Réalité Virtuelle en se jouent sur Android. Le jeu est donc développé en c# sur la plateforme Unity et est disponible sur le Play Store. Il reprend au maximum l'univers du jeu original Pac-Man.

Le but d'un tel projet dans notre cursus préparatoire est de permettre la mise en œuvre de nos connaissances en matière de programmation. Ces connaissances, nous avons pu les acquérir tout au long de l'année dans nos cours de travaux pratiques et de travaux dirigés sur le sujet. Ce projet permet de surcroît leur concrétisation comme leur amélioration, car il joue aussi un rôle d'exercice. À ces connaissances viennent s'ajouter des compétences personnelles qui, bien que ne pouvant être délivrées lors des cours, sont nécessaires à l'élaboration d'un projet en groupe. Ce rapport expliquera le déroulement du projet au sein du groupe et individuellement.

2 Reprise du cahier des charges

2.1 Origines du jeu

Notre premier critère était de faire un jeu en réalité virtuelle car celle-ci permet une nouvelle manière de jouer en étant « immerger » dans le gameplay¹. Nous avions initialement eu l'idée de faire un jeu de type Battle Royal, mais par manque d'originalité nous avons abandonné l'idée. Ensuite, après avoir écouté les SPE nous présenter leur projet, nous avons compris que le jury avait tendance à apprécier les jeux de type « oldschool » c'est donc là que nous est venue l'idée de Pac-Man. De plus, après plusieurs recherches, aucune version en VR² comme nous l'imaginions, existait. Nous sommes donc tous restés fixé sur cette idée.

1. Lexique 2

2. Lexique 3

2.2 Ses modifications

Depuis les premières idées que nous avions lors de la formation du groupe et depuis la rédaction du cahier des charges, nous avons dû nous adapter. En effet, lors de la rencontre de certains problèmes, nous nous sommes résolus à changer nos idées initiales présentées dans le cahier des charges, voir d'en abandonner.

Dès la première soutenance nous avons pu remarquer ce dont chacun était capable et quel était le mode de travail le plus adapté pour avancer ce projet. Initialement la répartition des tâches pour le projet avait été faite assez aléatoirement, ceux qui souhaitaient travailler dans un domaine particulier, travaillaient dessus et nous nous étions arrangés pour que chaque membre du groupe ait la même quantité de travail. Mais maintenant, grâce à nos travaux et à notre gain d'expérience dans chaque domaine, nous avons modifié la répartition des tâches de chacun pour que celles-ci soient attribuées à ceux qui avaient plus de facilités pour les accomplir. Cela nous a donc permis d'avoir une meilleure vue d'ensemble quant à l'implémentation des différents éléments et les différentes fonctionnalités du jeu.

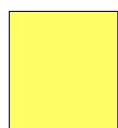
De plus, nous avons cherché à optimiser notre mode de travail. Par exemple comment résoudre nos problèmes sur Unity³ ou faire abstraction de ce qui ne nous semblait pas pertinent dans le jeu (comme l'utilisation d'une manette VR) mais qui nous aurait néanmoins beaucoup intéressé à implémenter. Voici donc, ci-dessous les différents changements, expliqués en détail, qui sont arrivés au cours de l'avancement du projet.

3. Lexique 4

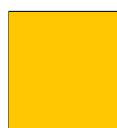
2.3 Planning

L'une des modifications faites depuis le cahier des charges a été l'application du planning. En effet, nous avions prévu d'avoir bien avancé plusieurs domaines à la fin de la première soutenance. Cependant la quantité de travail fourni par chacun pour la première soutenance était bien inférieure aux attentes et à nos prévisions. C'est seulement entre cette première soutenance et la seconde soutenance que nous avons pu rattraper ce retard et prendre un peu d'avance sur le travail à effectuer entre la deuxième et la dernière soutenance. En effet, ce travail de rattrapage que nous avions fait après la première soutenance aurait pu être implémenté bien plus tôt, ce qui nous aurait permis de ne pas perdre du temps plus tard. Pour la deuxième soutenance nous avions par exemple du retard sur le réseau et le site web, sur lesquels le travail fourni était insuffisant.

	Première soutenance	Deuxième soutenance	Dernière soutenance
Graphisme	50%	85%	
	40%	85%	
Audio	15%	60%	
	0%	70%	
Gameplay	50%	80%	
	40%	70%	
Multijoueur	10%	50%	
	0%	40%	100%
IA	15%	60%	
	15%	60%	
Site Web	70%	90%	
	0%	70%	
Interface	40%	80%	
	50%	80%	



Avancement prévu



Avancement réel

2.4 Réseau

À l'inverse de ce qui avait été pensé lors des débuts du projet nous n'allons créer qu'un seul mode de jeu multijoueur. En effet nous avions d'abord pour projet de créer un mode versus et un mode coopération. Comme dit précédemment, seul l'un des deux modes sera fait et c'est donc le mode versus qui sera disponible dans notre jeu. Le mode coopération étant, selon nous, pas pertinent à mettre en place. De plus, le mode coopération limitait le gameplay à un seul joueur (celui qui porte le casque VR), l'autre joueur, sur son téléphone devait guider le premier joueur dans la map⁴ afin que ce dernier survive sans se faire attraper par les fantômes. Cependant le gameplay pour le joueur avec le portable n'est pas intéressant puisque celui-ci devra seulement guider le premier joueur en observant la map.

Nous avons aussi décidé de supprimer la possibilité de choisir quel fantôme contrôler lors du mode multijoueur. Malheureusement cette fonctionnalité complique la création de la partie réseau, une partie maîtrisée par personne et dont Nicolas a eu des difficultés pour l'utiliser. Au cours du projet, ce dernier a même voulu recréer le composant fourni par Unity qui permettait l'implémentation du réseau afin d'avoir totalement le contrôle sur le réseau (pour gérer les différentes caméras entre autres), mais il s'est avéré encore plus compliqué. Il a donc choisi de continuer d'utiliser le composant fourni par Unity.

4. Lexique 5

2.5 Évolution de la répartition des tâches

Comme dit précédemment, c'est en ayant travailler que nous nous sommes aperçu des faiblesses et des facilités de chacun dans chaque domaine. C'est pourquoi nous avons pu répartir de nouveau les tâches nécessaires, de manière plus optimisée, afin que toutes les tâches soient accomplies dans leur totalité.

Nicolas, étant adjoint dans le site web car il connaissait déjà le langage HTML⁵ occupe une place désormais plus importante dans l'IA puisqu'il a orienté et épaulé Matthieu dans le développement ce celle-ci à partir de la première soutenance. C'est donc Valentin qui est devenu adjoint dans la partie site web puisque c'est lui qui a posé les bases du site, qui s'est occupé de l'hébergement de ce dernier et qui a orienté Benoît dans la partie site web. Il a aussi quitté la partie multijoueur pour s'occuper plus amplement du gameplay, dont l'implémentation de la VR. Matthieu a quitté la partie multijoueur pour se concentrer sur la partie gameplay.

5. Lexique 6

Domaine	Nicolas.C	Matthieu.B	Benoît.F	Valentin.R
Graphisme			▲	■
Audio		■		
Gameplay	■	▲ ▲		▲
Multijoueur	■	↑	▲	↑
IA(Fantômes)	▲ ▲	■	▲	
Site Web	↑		■	▲
Interface				■

■ : *Responsable*

▲ : *Adjoint*



Changement de tâches.

2.6 Gameplay

Contrairement à ce que nous avions dit dans le cahier des charges, nous avons choisi de ne pas implémenter la manette VR dans notre jeu. Elle devait initialement servir au joueur possédant le casque VR de pouvoir, en un coup de poignet (comme s'il regardait l'heure sur sa montre), de pouvoir regarder la minimap⁶. De plus, nous voulions utiliser cette manette pour faire le déplacement du joueur mais nous nous sommes rendus compte avec le temps que cela serait plus simple de faire avancer Pac-Man tout le temps et de tourner la tête vers la direction où nous souhaitions aller.

Cependant nous nous sommes rendu compte que cette manette n'était pas essentielle et son implémentation était trop compliquée par rapport à sa réelle utilité dans le jeu.

6. Lexique 7

2.6.1 Site web

Nous avons décidé de changer un peu notre site web par rapport au cahier des charges que nous nous étions fixés en début de semestre. Nous avons décidé de ne pas mettre de partie « Actualité », car nous n'étions pas prêts à écrire des articles régulièrement afin d'alimenter notre site en nouvelles. Nous l'avons donc remplacée par une partie « Commentaires », afin d'avoir des avis directement des utilisateurs, pour donner envie aux autres potentiels joueurs de télécharger notre jeu. De plus, nous avions annoncé une partie « Règles » sur le site afin d'expliquer aux visiteurs comment fonctionne notre jeu. Nous avons changé cela à des fins pratiques : nous avons intégrés les règles directement dans le jeu, afin que l'utilisateur soit accompagné directement depuis son téléphone. Il n'aura donc pas besoin de retourner sur le site pour voir et comprendre les règles. Nous avons changé légèrement nos attentes, mais ce fut utile et plus efficace.

3 Réalisation personnelles

3.1 Nicolas Cotonni

Lors du premier cahier des charges et jusqu'à la deuxième soutenance, nous avions décidé que je m'occuperais principalement de la partie réseau du jeu, mais que je travaillerais aussi sur l'IA et sur le gameplay.

Étant donné que je n'avais jamais travaillé sur Unity, la première chose que j'ai faite fut rechercher de la documentation pour bien comprendre ce logiciel. J'ai donc suivi la plupart des tutoriels fournis par Unity. De plus j'ai découvert des personnes sur YouTube qui expliquaient en profondeur comment utiliser chaque composant de Unity ce qui m'a permis de comprendre globalement leurs fonctionnements et donc de travailler efficacement sur le projet sans avoir à suivre des tutoriels à la lettre.

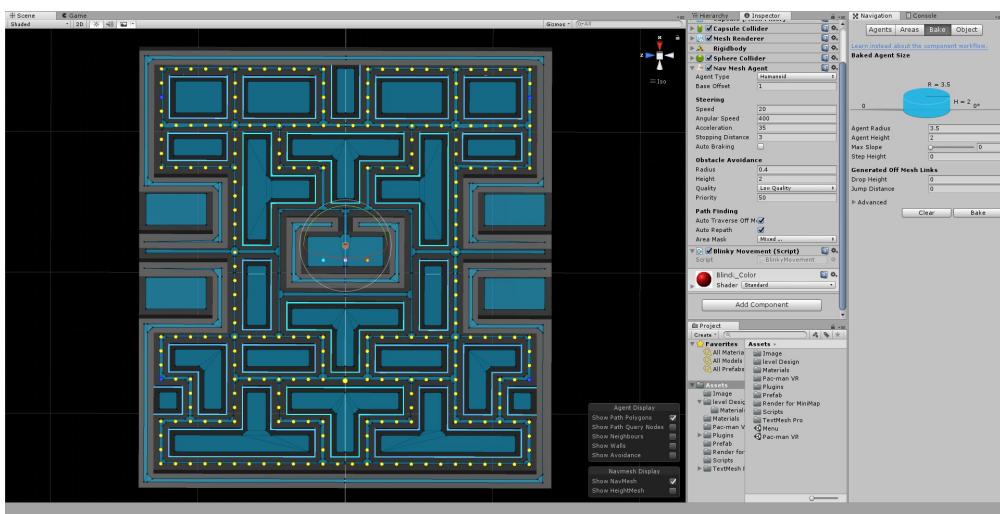
3.1.1 Intelligence Artificielle

La première fonctionnalité que j'ai dû faire concernant le développement de l'IA a été sans surprises, de me documenter à ce sujet. Malheureusement toutes les documents que j'avais déjà épluchées concernant Unity, son fonctionnement et la création de script⁷ ne m'ont en rien aidé lors de la création d'une IA. J'ai donc trouvé, la possibilité de créer cette dernière directement grâce à un composant de Unity. Ce dernier s'appelle NavMeshAgent⁸, il permet grossièrement de faire bouger un objet de Unity, dans notre cas un fantôme (ennemi), en tenant compte des éléments autour de lui (sol, murs, pentes etc.).

7. Lexique 8

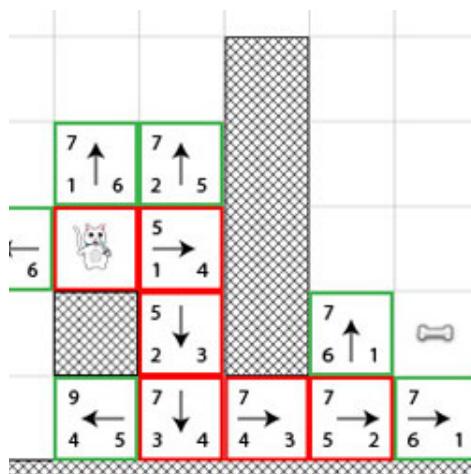
8. Lexique 9

À l'aide d'un script très simple permettant à cet ennemi de localiser la position du joueur, j'ai créé un script permettant au fantôme de trouver le chemin le plus rapide pour atteindre ce joueur, et de l'emprunter afin que l'ennemi attaque le joueur. J'ai donc, avant la première soutenance, implémenté une IA dans le jeu et j'ai rendu ses mouvements plus cohérents avec le jeu original (c'est-à-dire des mouvements moins fluides, à chaque intersection le fantôme tournait directement pour emprunter le chemin).

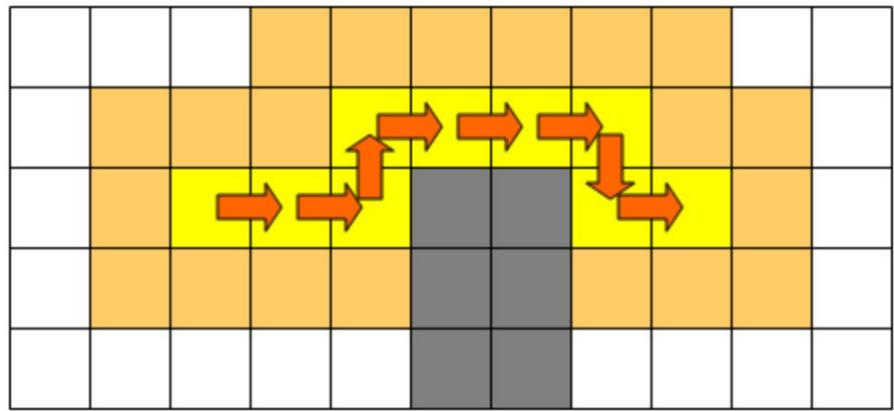


Après la première soutenance je me suis vite rendu compte que je ne pourrai pas utiliser les composants directement implantés dans Unity pour venir à bout de nos intelligences artificielles. En effet, étant donné que les quatre fantômes ont des intelligences artificielles différentes, l'utilisation du composant cité précédemment était devenu impossible. De plus chaque fantôme devra embarquer trois intelligences artificielles différentes : une pour attaquer le joueur (chaque fantôme ayant son type d'attaque différent), une pour défendre son « territoire » (chaque fantôme ayant sa propre zone à défendre) et une pour rentrer dans sa base une fois qu'il meurt. En bref, il était impossible d'utiliser ce composant de Unity. J'ai donc dû trouver un autre moyen de créer une intelligence artificielle.

Pour créer une nouvelle intelligence artificielle j'ai pensé aux cours d'algorithme que nous avions eu cette année. Dans le chapitre des matrices⁹, un des exercices que nous avions dû faire, était de trouver un chemin dans une matrice qui récupérait le plus de points (les nombres qui constituaient la matrice représentaient les points, le but était donc de trouver un chemin où nous passions par les cases ayant les plus grands nombres), cela m'a donné l'idée de retranscrire la map en une grille. En cherchant un peu j'ai trouvé un algorithme de recherche qui utilisait le système de grille : « l'algorithme A* ». Cet algorithme sert donc à trouver le chemin le plus court pour atteindre un certain point, dans notre cas le joueur. L'algorithme A* a besoin de nœuds pour fonctionner. En effet, chaque nœud est disposé à chaque intersection de chemins. Pour vulgariser, l'algorithme va faire la somme des coûts des nœuds (qui varie en fonction de la distance entre le nœud et le point d'arriver) pour arriver au but. Le chemin dont la somme est la moins élevée sera le chemin le plus court : c'est donc cette suite de nœuds (qui forme un chemin) que l'ennemi devra emprunter.



9. Lexique 10

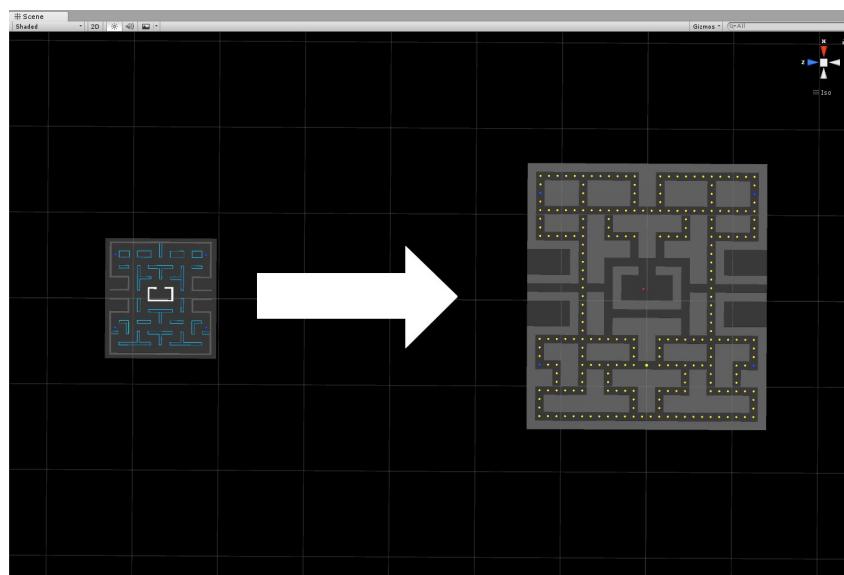


Étant donné que l'implémentation de l'IA dans le jeu était le rôle principal de Matthieu, je me suis contenté de lui montrer et de lui expliquer cet algorithme afin qu'il l'implémente dans le jeu.

3.1.2 Gameplay

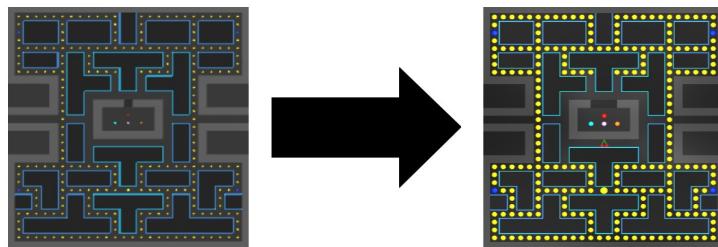
La deuxième chose dont je me suis occupé dans le projet est plus ou moins une part du gameplay. Avant la première soutenance Valentin s'était adonné à la création de la map. Malheureusement, lorsque j'ai voulu implémenter la première version de l'intelligence artificielle (fourni par Unity) celle-ci ne fonctionnait pas. En effet la première version de la map n'avait pas été faite rigoureusement, aucun des blocs ne faisait exactement la même taille, ce qui faisait que le composant (fourni par Unity qui permettait à un objet de se repérer dans l'espace) ne pouvait pas passer dans tous les couloirs de la map.

C'est donc avec beaucoup de peine que j'ai dû effacer la première map, reprendre tout de zéro et en recréer une plus rigoureuse avec une même distance entre chaque mur, une taille fixe de 31 par 28, afin de faciliter les futurs déplacements des intelligences artificielles dans une grilles de même largeurs et hauteurs.



Après cette première soutenance j'ai revu le design de la minimap, un point essentiel

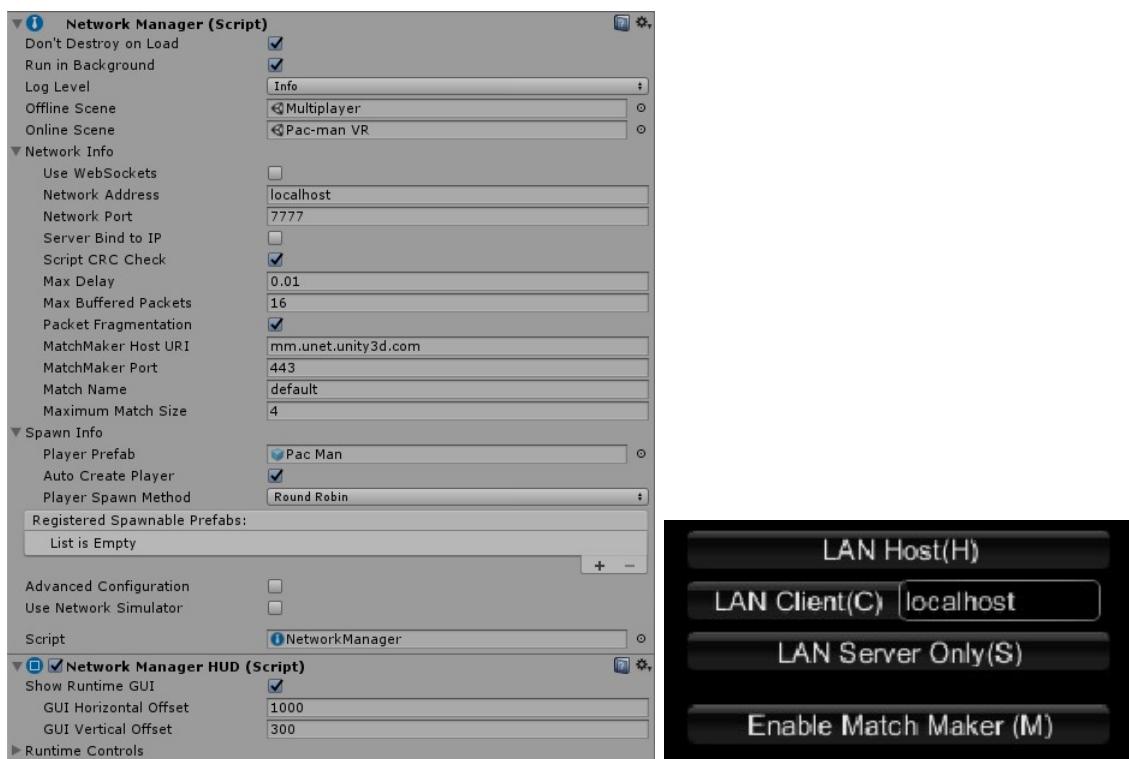
du gameplay. En effet avant ce remaniement j'ignorais comment modifier la taille de chaque élément de la minimap sans impacter leurs tailles dans la map. En clair j'ai dû faire une copie de chaque élément que je voulais agrandir sur la minimap, les agrandir, les mettre en sous élément à leur emplacement initial, et faire que ceux-ci soient uniquement visible par la caméra utilisée par la minimap afin que le joueur puissent les voir dans leur taille normale. Cette modification m'a été plus qu'utile puisqu'elle permet de la même manière d'attribuer à chaque fantôme, non pas une vue de dessus où l'on peut seulement les distinguer par leurs couleurs, mais à la place une représentation d'eux en deux dimensions confectionnée par Valentin.



Enfin, afin de faciliter le travail des autres membres du groupe j'ai créé un script qui consiste, pour l'instant, à envoyer un message dans la console lorsque le joueur tue un ennemi. C'est-à-dire quand le joueur touche un fantôme dans un temps imparti après avoir récupéré un bonus. Un travail que j'effectuerai sûrement entre le rendu de ce rapport et le rendu final du projet. Il suffira seulement de modifier le script pour que celui-ci appelle la fonction qui passe le fantôme touché en mode « rentrer à la base » (comportements normaux des fantômes après que ceux-ci sont éliminés par le joueur).

3.1.3 Réseau

Il faut tout d'abord savoir que j'ai pris un peu de retard sur le réseau. En effet c'est seulement entre la première soutenance et la seconde soutenance que j'ai commencé à faire des choses concrètes dans la partie réseau du jeu. Néanmoins toutes mes recherches sur l'utilisation du composant fourni par Unity appelé NetworkManager¹⁰ étaient faites avant la première soutenance. Il a été pour moi très dur de comprendre encore tous les rouages du NetworkManager.



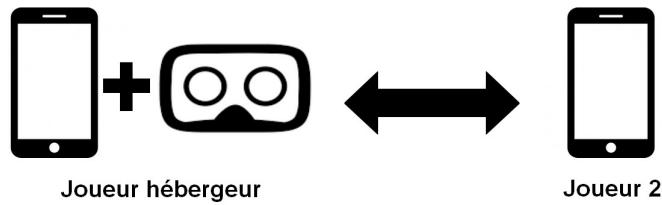
La première chose que j'ai faite sur Unity concernant le réseau a été de rendre fonctionnel le bouton « Multijoueur » du menu principal. Celui-ci change simplement de scène¹¹ dans Unity, cette nouvelle scène contenait simplement le composant de Unity permettant d'héberger un serveur et de se connecter à un serveur. À force de suivre

10. Lexique 11

11. Lexique 12

quelques tutoriels j'ai créé certains scripts et j'ai modifié les paramètres du composant de Unity afin que tous les mouvements produits par un joueur soient captés par l'autre joueur.

Le fonctionnement de la partie réseau reste néanmoins très simple. En effet, le joueur muni du casque VR se connecte et créer un serveur alors que le joueur qui observe la map et qui contrôle le fantôme rejoint le serveur créer précédemment. C'est donc le premier joueur qui héberge le serveur. Ci-dessous un schéma explicatif du fonctionnement du serveur.



Le fait d'implémenter une partie réseau à un jeu vidéo n'est pas une tâche évidente. Cependant, cette tâche est d'autant plus difficile lorsque le jeu n'est pas fini. En effet, lorsque j'ai commencé j'ai déjà eu des problèmes avec le jeu initial (impossibilité de bouger ou de tourner la caméra), c'est pourquoi j'ai dû rapidement créer de nouveaux scripts concernant le déplacement du joueur et l'orientation de sa caméra.

3.2 Matthieu Boliand

En arrivant cette année à EPITA, je n'avais encore jamais touché à Unity ni utilisé le langage C#. C'est au cours des différents TP de programmation ainsi que de l'avancement dans notre projet que je me suis intéressé à ce nouveau langage informatique, j'ai ainsi beaucoup approfondi mes connaissances en programmation et surtout en Programmation Orientée Objet.

C'est depuis l'année dernière grâce à l'option ISN qui était disponible dans mon lycée, que l'informatique a vraiment commencé à m'intéresser et plus particulièrement les Intelligences Artificielles, c'est à ce moment que le projet de rendre les choses autonomes à vraiment commencé à me faire réfléchir, c'est l'une des raisons qui m'a poussé à rejoindre EPITA ainsi que de m'occuper de la partie des IA du projet.

3.2.1 Partie théorique

J'ai donc commencé par faire des recherches sur le fonctionnement des IA des fantômes de Pac-Man. Il y a quatre fantômes de différentes couleurs allant chacun un nom : Blinky est le fantôme rouge ; Pinky est le fantôme rose ; Inky est le fantôme bleu ; Clyde le fantôme orange. Ces quatre fantômes ont la même base en terme

d'intelligence artificielle, l'algorithme de rechercher de chemin est le même pour tous, seul la case cibler change (elle sera expliquée dans le prochain paragraphe), il possède deux modes différents : le mode attaque où le fantôme poursuit le joueur, le mode prise de base où le fantôme arrête de poursuivre le joueur et va protéger la base qui lui

est assignée afin de donner des temps de relâchement au joueur. Un dernier mode est activé lorsque le joueur mange un Mega Pac-Gomme les fantômes entrent dans le mode effrayer, pendant dix secondes leurs vitesses seront ralenties et ils retourneront protéger leur base, mais s'ils se font manger lors de cette période ils retournent au centre de la map et reprennent où ils en étaient dans leur cycle de mode.

Les changements d'état ainsi que les bases assignées aux fantômes sont expliqués ci-dessous.

Mode	Temp d'activation (s)
Prise de base	7
Attaque	20
Prise de base	7
Attaque	20
Prise de base	5
Attaque	20
Prise de base	5
Attaque	Indéfinie



Chaque fantôme a donc sa spécialité, Blinky : il est le plus « simple », en mode attaque il cible directement Pac-Man et sa vitesse est légèrement augmentée par rapport aux autres fantômes. Sa base à défendre correspond au quart en haut à droite de la map. Pinky & Inky : Ils vont essayer de créer une embuscade en attaquant par devant et derrière afin de bloquer le joueur, et doivent défendre dans l'ordre, le quart en haut à gauche et le quart en bas à droite. Clyde lui va attaquer par l'avant comme Pinky mais avec encore plus d'avance, ceci sera réexpliqué avec plus de détails dans la partie technique des IA, et il doit défendre le quart en bas à gauche de la map.

3.2.2 Intelligence artificielle

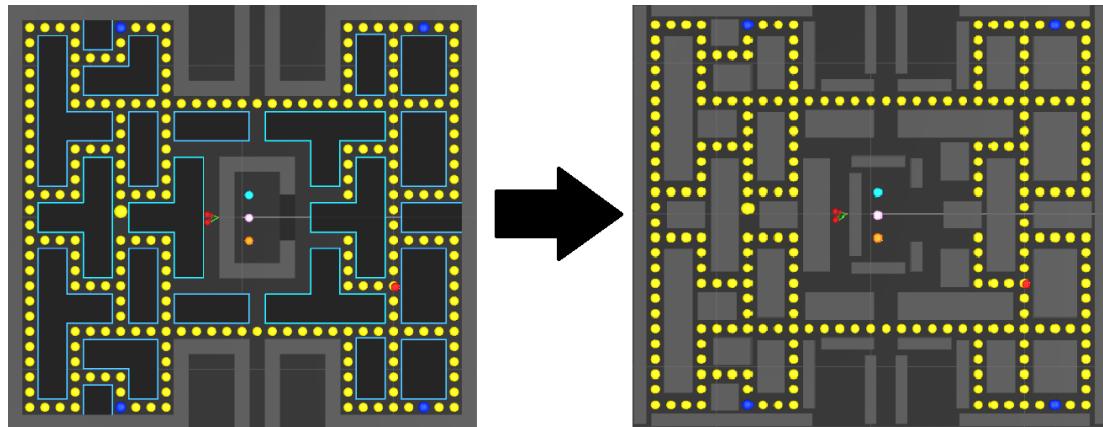
Unity étant complètement nouveau pour moi, j'ai commencé par beaucoup me renseigner sur cette plateforme afin d'avoir un minimum de base pour commencer le projet. Cette IA repose principalement sur une grille qui donne comme information les positions de tous les objets et grâce à l'algorithme de recherche de chemin le plus rapide entre deux cases de cette grille (ces cases seront appelées node par la suite) la grille permettra de donner le chemin le plus optimal à chaque fantôme.

Pour faire tout cela mon collègue Nicolas m'a conseillé un cours qu'il avait trouvé qui m'a beaucoup aidé pour la suite du projet. La grille est de taille 31x28 et est composée de node qui héritent tous de la classe Node ainsi il possède donc six attributs : deux booléens qui permettent de déterminer le type de case, si nous avons le droit de passer par cette case et si le chemin doit être réactualisé, un Vector3 et deux valeurs Int qui donneront la position de ce node dans la grille et une variable qui donne le père du node, cette variable sera initialisée lors de la recherche du chemin. De plus cette classe possède une fonction qui donne le coût du node, c'est une fonction toute simple mais qui simplifie bien le travail par la suite dans la recherche de chemin.

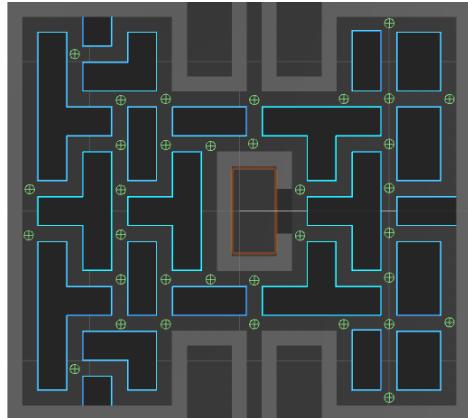
L'attribution des valeurs de chaque node se fais une par une, pour les valeurs booléennes il faut regarder s'il y a un contact entre la case et un objet avec un layer¹² spécifique, pour la variable walkable il faut regarder s'il y a un contact avec un obstacle qui possède un layer spécifique de la map, seulement les blocs des obstacles étaient légèrement trop grands et débordaient sur les cases autour d'eux, donc il a fallu recréer tous les obstacles de la map mais en plus petit afin de séparer correctement les cases

12. Lexique 13

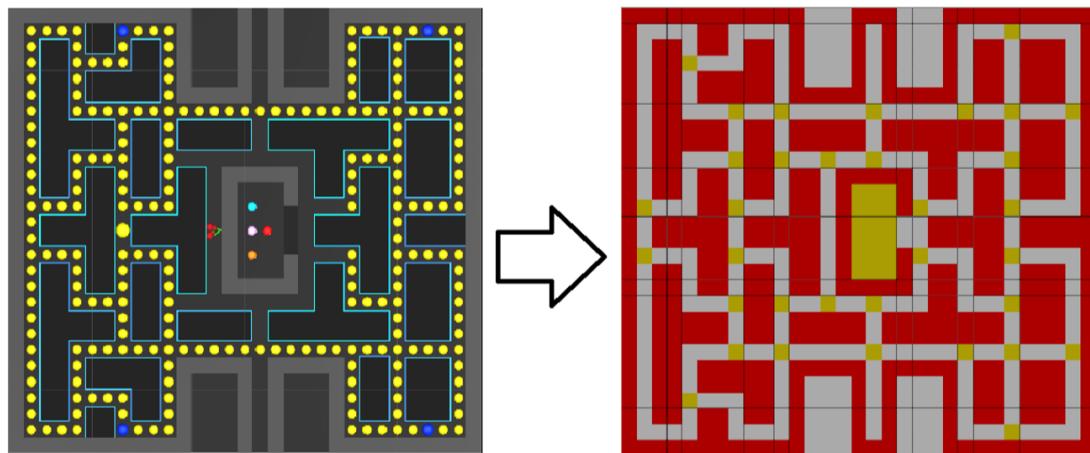
accessibles des cases inaccessibles. On voit ci-dessous que la taille des obstacles a bien réduit.



L'attribution de la valeur booléenne de change direction se fait avec le même principe mais avec un layer d'objet différent. Comme les fantômes ont le droit de changer de direction uniquement quand ils sont dans une intersection à au moins trois chemins possibles, la seule exception pour qu'ils changent de direction sans être sur une case qui lui laisse le droit, est quand le fantôme change de mode. Pour identifier ces cases efficacement j'ai rajouté des objets invisibles et qui n'interagissent ni avec les joueurs ni avec les fantômes mais qui rentre en contact avec la case. Ces objets sont représentés par les sphères vertes dans l'image ci-dessous.

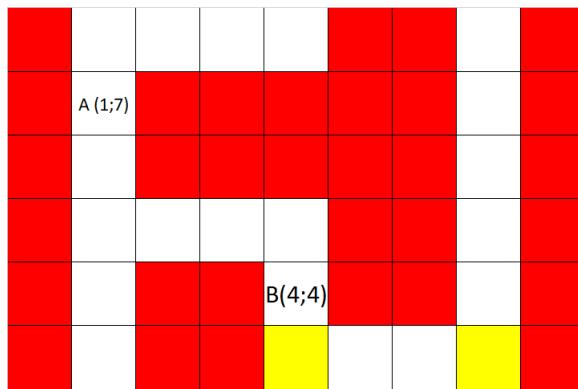


Pour identifier facilement toutes ces cases et pour vérifier si tout marche bien j'ai rajouté un rendu visuel dans la scène de Unity, les cases inaccessibles sont en rouge et les cases où le changement de direction est possible en jaune.



L'algorithme de recherche de chemin est basé sur l'idée de l'algorithme A*, ce programme sera lancé pour chaque fantôme à chaque fois qu'il passe sur une case jaune (la variable change de direction du node est donc à true). Son principe est de donner un coût à chaque case et le chemin final sera le chemin le moins coûteux.

Le coût de chaque node est déterminé par la somme de deux variables : la distance de la case de départ au node que nous regardons et du node que nous regardons à la case d'arriver, et cette distance est la valeur absolue de la somme des différences des coordonnées en X et Y des deux nodes : un exemple pour illustrer ci-dessous.



A est une case de coordonnées (1 ;7) et B une case de coordonnées (4 ;4) pour avoir la distance entre ces 2 cases il faut faire $|1-4|+|7-4| = 3 + 3 = 6$. Le programme

va d'abord regarder les cases autour du fantôme et éliminer les nodes qui ne sont pas accessibles, ensuite il va initialiser le père pour tous les nodes voisins qui restent, qui est actuellement le node où se trouve le fantôme mais cette case va changer à chaque fois que l'on va bouger dans le chemin, le père correspond à la case sur laquelle on se trouve. Ainsi on se déplace sur le node le moins coûteux mais on garde en mémoire le coût des autres node, comme cela si à un moment le coût de tous les voisins est supérieur au coût d'un node gardé en mémoire. Il suffit de retourner à ce dernier et de recommencer et ainsi de suite nous arrivons à la case d'arriver pour retracer le chemin le plus rapide. Il faut aller de père en père de chaque node sur laquelle nous retombons et avec cette méthode le chemin est déterminé. Un exemple bien détaillé est disponible en annexe.

Maintenant que le chemin est déterminé il faut que les fantômes le prennent. Seulement pour optimiser la demande de chemin comme les quatre fantômes vont chacun avoir un chemin différent il faut créer une fonction gère toutes ces demandes et les redistribuent par la suite à chaque fantôme. En fonction du chemin trouvé, une liste de direction est créée et permet ainsi à chaque fantôme d'avoir les directions précises qu'il doit emprunter.

La dernière partie de l'IA consiste à créer le changement de mode de chaque fantôme. C'est Benoît qui m'a aidé pour faire cette partie, nous avons créé une horloge et à chaque moment prédéfini, nous faisons des actions prédéfinies : quand le jeu recommence toutes les dix secondes, on active à nouveau les fantômes dans l'ordre Blinky, Pinky, Inky puis Clyde. Pendant ce temps, les modes changent normalement et basculent comme dans le tableau vu précédemment.

3.2.3 Audio

L'audio est loin d'être la partie la plus compliquée, mais elle est essentielle à un jeu car elle permet vraiment de rentrer dans l'expérience du jeu. Nous avons pris la décision de vraiment reprendre les musiques et sons du jeu original de Pac-Man. Grâce à Unity, gérer des sons est très pratique avec les AudioSource¹³, il suffit juste de définir des conditions dans le script pour les lancer facilement. Le problème en utilisant les musiques originales, elles peuvent vite devenir lourdes à l'écoute, c'est pour cela que j'ai rajouté dans les paramètres un slider afin de régler les sons rapidement, qui est relié au volume de l'AudioMixer¹⁴ qui gère le volume de tous les sons du jeu.

13. Lexique 14

14. Lexique 15

3.3 Benoît Flamand

3.3.1 Site Web

Créer le site fût une tâche compliquée pour ma part. Avant ce projet, je ne connaissais rien en HTML et CSS. J'ai dû donc suivre quelques cours en ligne, notamment grâce à <https://openclassrooms.com/> mais aussi grâce aux forums et autres tutoriaux sur internet et YouTube.

J'ai donc commencé, jusqu'à la première soutenance, à développer moi-même le site. Ce fût long, et le résultat ne fut pas là. Mon site ne fonctionnait pas, je n'avais donc pas pu donner mon code à la première soutenance.

J'ai eu de l'aide de la part de mon groupe, plus précisément de Valentin, qui m'a aidé en me donnant une structure de base du site. J'ai donc repris son travail pour développer le site web. J'ai dû donc toucher au code, modifier, ajouter, supprimer des lignes pour avoir un site qui nous correspondait. Ce fût le travail que j'ai montré lors de la deuxième soutenance, cependant plusieurs options du site ne fonctionnaient pas, ou n'étaient pas à jour. Nous avons, avec mon groupe, hébergé le site avant cette soutenance sur internet.

Depuis cette soutenance-là, j'ai pu travailler davantage pour essayer de rattraper le retard que j'avais pris par rapport à mon groupe. J'ai donc repris tout le site, et j'y ai modifié pas mal de choses qui nous étaient inutiles, ou obsolètes, jusqu'à avoir enfin le site actuel.

Comme pour tout nouveau projet avec de nouvelles notions, j'ai dû apprendre les bases. Je suis donc allé sur le site d'OpenClassRoom pour apprendre l'HTML et le CSS. Ce site m'a permis de comprendre et appliquer les bases de la programmation en HTML, puis en CSS étant donné que ces deux langages sont nécessaires pour créer un site complet.

En appliquant toutes ces méthodes et toutes ces notions fraîchement acquises, j'ai donc commencé à écrire le site seul. Je n'ai malheureusement pas gardé de traces de ce fichier, car j'ai eu un problème impliquant un changement d'ordinateur et je n'avais pas l'habitude de sauvegarder mes fichiers en ligne.

La première soutenance passée, essayant de travailler avec ce que j'avais réussi à faire, c'est-à-dire un site peu propre, j'ai eu l'aide de Valentin. Il m'a donné une structure qu'il a obtenue en la prenant d'internet, et en la remodifiant. Je me suis donc servi de ce code pour continuer le site. Ce code était peu clair et je ne comprenais pas toute la partie CSS du site, car elle utilisait des notions qui m'étaient parfois inconnues. J'ai donc modifié le site afin qu'il soit lisible et à jour pour notre prochaine soutenance, la deuxième. Mais là était le problème, en reprenant cette structure de site, il y avait une partie « Contact » dans le site, mais cette fonctionnalité ne semblait pas fonctionner. J'ai donc cherché, et c'est à partir de ce moment-là que j'ai commencé à reprendre du retard : il fallait refaire cette partie du code, et il fallait en plus ajouter une partie « Commentaires » au site afin que les utilisateurs puissent laisser un avis sur le jeu qui serait visible par tous, pour qu'ils puissent s'exprimer. Le problème était que pour pouvoir gérer une partie « Commentaires », il fallait implémenter un troisième langage au site, qui est le PHP. Cet incident m'a donc coûté du retard, et je n'ai pas pu présenter un

site propre et fini lors de la deuxième soutenance.

Cette soutenance passée, j'ai donc repris tous les codes que j'avais pu faire ou les codes que Valentin m'avait donnés pour pouvoir finir ce site. Cela m'a pris beaucoup de temps, sachant que j'ai dû réécrire des parties entières de code CSS, afin d'avoir des lignes de codes propres et clairs pour moi.

En ce qui concerne la partie HTML du code, ce fût pour moi la partie la plus facile à comprendre et à appliquer. Insérer des paragraphes, des listes, des hyperliens, des images, etc. n'était pas compliqué, mais pour le positionnement et l'affichage grâce au CSS, là fût pour moi la complexité de ce travail. Cela était déjà compliqué quand j'avais essayé de faire le site seul en entier, mais l'a été d'autant plus avec la nouvelle structure, qui comprenait plus de 3 500 lignes de code.

Pour le site en lui-même, il contient maintenant une interface simple et agréable d'utilisation. Il est composé de 4 parties :

- La partie « index », la page d'accueil : La page d'accueil, ou index, est ici la page qui reçoit le visiteur lors de son arrivée sur notre site.
- La partie « download » : C'est la page qui permet de télécharger notre jeu gratuitement, sur Android et qui permet aussi de télécharger notre cahier des charges.
- La partie « équipe » : C'est quant à elle la partie présentation, là où tous les membres de Molette Prod sont présentés avec une photo et une description.
- La partie « contact » : Elle contient un petit formulaire, pouvant permettre à l'utilisateur de nous faire un retour directement du jeu, de nous signaler un problème qu'il a rencontré, ou tout simplement de prendre contact avec l'équipe.

De plus, toutes les pages citées sont en double : une version française, de base, ainsi qu'une version anglaise afin que notre jeu puisse être accessible par tous !



3.3.2 Intelligence artificielle, réseau et graphisme

Concernant le jeu, je suis adjoint en Intelligence Artificielle, en Multijoueur et en Graphisme, j'ai travaillé sur l'intelligence artificielle avec Matthieu, notamment l'ajout de timer sur les fantômes pour changer les états (les fantômes changent d'état suivant un certain nombre de secondes depuis son dernier changement d'état). J'ai aussi aidé un peu Nicolas pour la partie multijoueur, et finis la partie graphisme avec Valentin.

3.4 Valentin Robin

Avant tout, Unity était un logiciel d'une totale nouveauté pour moi, j'ai donc commencé mon travail en me renseignant le plus possible sur le logiciel Unity. Des tutos officielles et très claires sur la plateforme YouTube ainsi que sur leur site internet étaient disponibles. Les tutos et les démos téléchargeables sur leur site m'ont permis de me familiariser rapidement avec ce logiciel complet et très intuitif. Par la suite cela m'a permis de pouvoir travailler efficacement sur le projet.

3.4.1 Graphisme & Interface

Avant de commencer le design du jeu je me suis tout simplement consacré au logo du jeu et du groupe : Molette Prod puisque j'avais déjà manipulé Photoshop auparavant et les logos n'étaient pas très complexe et donc pas compliqué à faire.

Premièrement, je me suis occupé du Level Design¹⁵. J'ai donc commencé par modéliser les bases c'est-à-dire la carte originale de Pac-Man mais en 3D pour cela j'ai préféré modéliser les différents « obstacles » un par un de la carte pour que ce soit plus facile à manipuler par la suite et placer ou déplacer les obstacles plus précisément et facilement(Voir image ci-dessous). Le sol est tout simplement « une plane¹⁶ » de Unity. Par la suite, j'ai mis une skybox¹⁷ noir et sombre pour rappeler l'univers rétro du jeu. Pour les couleurs, j'ai tout simplement repris les couleurs originales du jeu Pac-Man, c'est-à-dire, principalement du noir et du bleu un peu plus flash pour moderniser le jeu. Ensuite, les Pac-gommes j'ai tout simplement pris des sphères toutes faites de Unity pour leur appliquer une couleur jaune flash pour qu'elles soient visibles sur la minimap.

15. Lexique 18

16. Lexique 19

17. Lexique 20

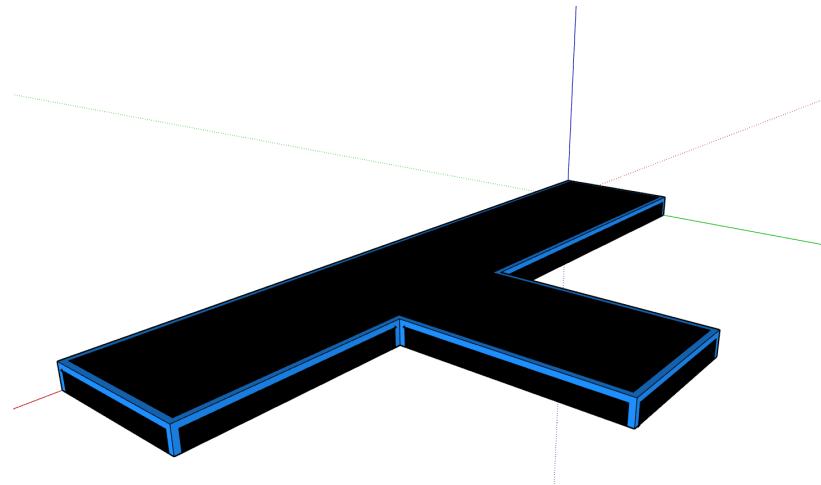


FIGURE 1 – Un des 7 obstacles

J'ai modélisé les fantômes sur Blender. Il faut savoir qu'il y a eu deux modèles de fantômes. Le premier était un fantôme plus réaliste mais ce n'était pas satisfaisant et pas attirant visuellement ainsi j'ai préféré en faire une nouvelle version qui rappelait plus l'univers rétro du jeu donc j'ai repris les fantômes originaux et je les ai mis en trois dimensions. Ce qui donne des fantômes pixelisés en 3D (comme ci-dessous).

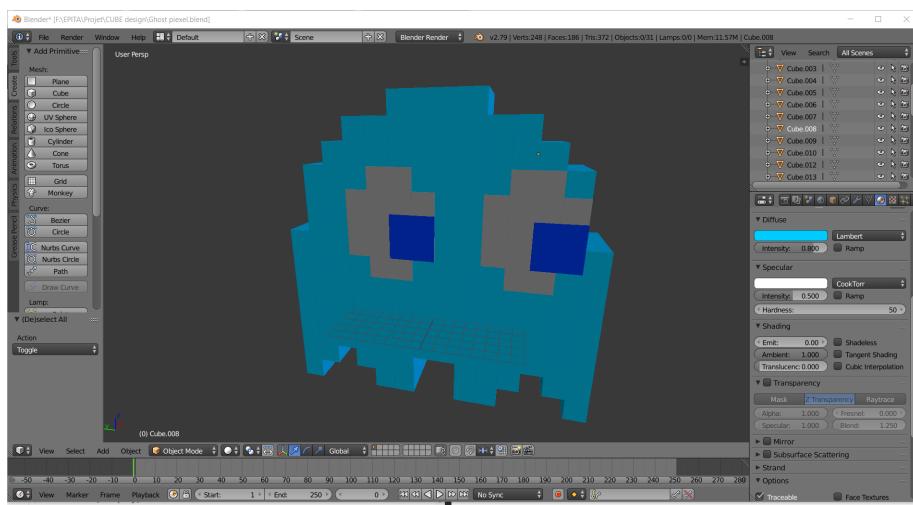


FIGURE 2 – Fantôme final

Par la suite, je leur ai créé des petites animations sur les fantômes (ils bougent de haut en bas sur l'axe des Y ainsi que leurs yeux). J'ai aussi modélisé les différents bonus qui s'acquièrent aux cours du temps et des niveaux (Cerise, pomme, orange, fraise, etc...) et je les ai donc aussi implémentés en bas à droite de l'écran pour symboliser chaque niveau (Exemple ci-dessous). J'ai utilisé le logiciel Blender pour pouvoir modéliser et animer le tout. Cependant pour les logos de l'interface du joueur, les bonus en 2D pour la minimap j'ai utilisé Photoshop.

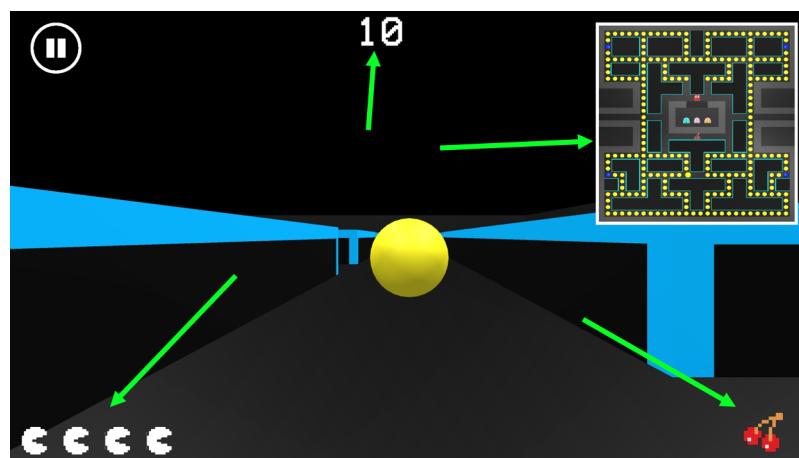


FIGURE 3 – Vie, Score, Minimap et Bonus

Une fois les trois quarts du design du jeu de finis je me suis mis au menu principal qui au début était simple et basique sans aucun design mais fonctionnel pour avoir les bases. Cependant, avec le temps il s'améliorait peu à peu et ressemblait à un menu plus animé et fonctionnel. J'ai voulu vraiment rappeler l'univers du jeu original avec un menu basique sur fond noir et une police pixélisée. J'ai ainsi aussi créé et modifier les scripts du menu pour avoir menu principal totalement fonctionnel.

Pour finir, j'ai fini le design et l'interface par intégrer un menu pause totalement fonctionnel des animations en plus tel qu'une animation quand on récupère un bonus (une cerise par exemple) avec le nombre de points qu'on récupère à chaque fois qu'on prend le

bonus. Une interface quand on perd ou qu'on gagne pour pouvoir recommencer, quitter ou passer au niveau suivant et une interface au début du lancement du jeu pour dire au joueur que le jeu va commencer par un message :« READY ! » et en fond la musique originale du jeu. De plus, je me suis occupé d'intégrer la minimap, les vies de Pac-Man et le score totalement fonctionnel toujours en s'inspirant fortement du jeu avec cet effet pixélisé et rétro.

J'ai aussi rajouté une interface avec un message d'avertissement pour avertir le joueur de bien mettre son casque de réalité virtuelle car le jeu va commencer une fois qu'il appuiera sur le bouton « continuer ». En outre, il y a un autre texte lui présentant les quelques risques qu'il peut rencontrer en jouant à la réalité virtuelle et un autre pour lui montrer comment jouer au jeu avec la réalité virtuelle.

J'ai bouclé le design du jeu par des finitions tel qu'ajouter des jeux de lumière, des reflets, des textures un peu plus propres, rajouter encore d'autre animations dans le menu et les transitions entre les différentes scènes du jeu pour rendre le jeu plus propre et plus soigné.

3.4.2 Site Web

Pour ma part, l'HTML et le CSS était pour moi une totale découverte, j'ai donc commencé par me renseigner le plus possible sur le web, voir les différents tutos ainsi que les bases d'un site internet (nom de domaine¹⁸, extension de domaine¹⁹, protocole de communication²⁰, serveur à utiliser, hébergeur, ...). J'ai commencé par créer un site totalement fait en HTML mais son design était fade, basique et pas très avenant du coup j'ai préféré utiliser une autre méthode.

Par conséquent, j'ai réalisé la base du site internet puisque nous n'avons toujours pas de réelle base ainsi j'ai utilisé le site <https://html5up.net/> pour pouvoir créer notre site et de posséder un design pur et avec des animations fonctionnelles. Ce site permet de télécharger des templates²¹ déjà tous fait qu'on peut modifier par la suite de façon totalement légale et gratuite (Image à gauche ci-dessous). J'ai donc choisi le template nommé Alpha. C'est un template pas trop complet, simple, épurer, facile à modifier et surtout adapter à tout type d'écran, sur mobile ou tablette. C'est pourquoi, ce template était le bon pour notre la présentation de notre projet.

De plus, j'ai hébergé le site sur GitHub avec Git et utiliser un nom de domaine gratuit grâce à <https://www.netlify.com/>. Cependant, avec le temps nous nous sommes payé un vrai nom de domaine : « pacmanvr » avec une extension de domaine en « .fr ». Dès lors, nous nous sommes créé notre propre adresse mail. Ainsi, sur notre site on peut télécharger la version du jeu puisqu'il nous redirige sur le PlayStore pour pouvoir télécharger la version Android.

18. Lexique 21

19. Lexique 22

20. Lexique 23

21. Lexique 24

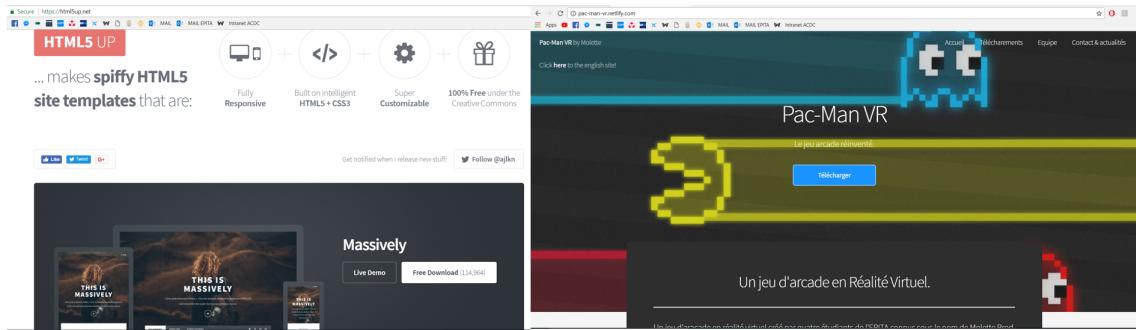


FIGURE 4 – HTML5 Up et notre site internet final

3.4.3 Gameplay

Tout d'abord, je me suis occupé de tous les déplacements de Pac-Man. Il faut savoir qu'il y a eu des multiples versions : une version sur PC basique avec les flèches du clavier et la souris pour tester les différents mouvements basiques, bugs, etc . . .

Ensuite, j'ai décidé de « build » le jeu et de l'adapter pour Android (sur portable) en y ajoutant des scripts et j'ai donc créé une première version des déplacements de Pac-Man pour l'adapter à un portable. Pour cela, j'y ai donc implémenté des joysticks pour pouvoir naviguer et y jouer sur smartphone. De ce fait, j'ai dû réadapter la minimap, la position du score, la vie, etc . . . pour un format smartphone. Par la suite j'y ai implémenté une autre version mais cette fois-ci sans joystick donc le Pac-Man avance tout le temps et on tourne en bougeant le téléphone dans la direction dans laquelle on souhaite aller. Pour cela, on utilise le gyroscope²² intégré du smartphone qui permet de se repérer dans l'espace.

Pour finir, j'ai implémenté la réalité virtuelle dans le jeu qui utilise le même principe que précédent mais qui coupe l'écran en deux avec un effet un peu sphérique pour pouvoir l'adapter avec un casque de réalité virtuelle.

22. Lexique 6

3.5 Ressentis personnels

3.5.1 Nicolas Cotonni

L'aboutissement de notre projet m'a beaucoup apporté. D'une part sur une part informatique mais aussi d'un point de vue « professionnel ». En effet d'un point de vue informatique ce projet m'a permis de m'adapter dans beaucoup de circonstances, par exemple lorsqu'il fallait rechercher des solutions à nos problèmes ou plus simplement lorsqu'il fallait se documenter sur l'utilisation de Unity. De plus, j'ai désormais plus d'expérience et de connaissance concernant l'orienté objet. Étant le chef du groupe cela m'a permis de m'occuper du bon fonctionnement de l'équipe afin de ne pas être en retard dans les jours de soutenances par exemple. Être chef de groupe n'a pas été facile pour moi, en effet j'ai souvent eu du mal à attribuer des tâches à faire à mes camarades et lors de la première soutenance nous avions un retard non négligeable. Cependant, notre jeu reste jouable et celui-ci est abouti grâce à l'aide de mes camarades. J'espère donc que nos professeurs y trouveront l'intérêt que je vois en notre jeu.

3.5.2 Matthieu Bolliand

Ce projet m'a beaucoup appris, en expérience informatique aussi bien qu'en travail de groupe. Le complément TP / projet n'était que bénéfique, tout ce qu'on fessait en TP m'a aidé à m'améliorer dans le projet et à comprendre de nouvelle chose, notamment en POO, que je pouvais appliquer par la suite dans les TP et ainsi de suite. J'ai aimé travailler sur l'IA et cela m'a donné encore plus envies de m'investir dans cette voie plus tard et apprendre à faire des programmes encore plus performants et intéressants. Le fait de travailler en groupe aussi m'a bien motivé, car, si ce que nous faisons ne marche pas, cela n'aura pas seulement une conséquence personnelle mais va pénaliser tout le groupe.

c'est pour cela qu'une bonne tâche est primordiale à un bon travail de groupe.

3.5.3 Benoît Flamand

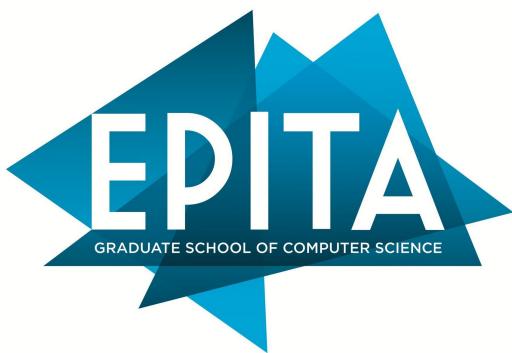
J'ai eu beaucoup de mal à travailler pour ce projet, que ce soit d'un point de vue travail, où j'ai eu du mal à commencer, ou d'un point de vue plus personnel, au niveau de ma santé. Je n'avais jamais fait un aussi gros projet, sur une durée d'un semestre. J'ai pu cependant rattraper un peu mon retard de ce semestre, ce qui fût pour moi une grosse épreuve. J'en garde personnellement un assez bon souvenir, ce fût une expérience difficile mais à la fois importante dans ma démarche pour obtenir mon titre d'ingénieur. Je tiens à remercier tous mes camarades, qui m'ont supporté pendant ces épreuves et qui ont su m'apporter l'aide nécessaire afin que le projet se porte pour le mieux.

3.5.4 Valentin Robin

Pour conclure, le projet Pac-Man VR m'a appris énormément de choses sur beaucoup de domaines liés à l'informatique et s'est révélé très enrichissant. Malgré les hauts et les bas rencontrés, les retards qu'on a pu avoir, et même s'il me reste encore des choses à apprendre, je suis très satisfait du rendu final et des choses qu'on a pu accomplir. De plus, il nous a permis d'appliquer nos connaissances acquises tout au long de l'année en programmation. Ce projet m'a permis de stimuler ma créativité. Celle-ci passe par la modélisation de la carte, de l'interface, des fantômes, des différents bonus et des différentes animations et idées. J'ai aussi aimé l'esprit d'entraide dans le groupe puisque qu'au début du projet nous avons tous des idées différentes, nous avons toutefois réussi à nous mettre d'accord sur une trame de projet. Je tiens donc plutôt à remercier mes trois camarades du groupe Molette Prod : Nicolas, Matthieu et Benoît.

4 Conclusion

Ce projet nous a demandé beaucoup de travail. Le travail effectué sur celui-ci a permis à chacun de nous d'en apprendre beaucoup sur la programmation et sur le fait de travailler en groupe. Bien que ce fût une tâche compliquée et longue, chacun d'entre nous a pu travailler dans un domaine différent et donc acquérir de nouvelles connaissances. Nous avons aussi appris à nous adapter au rythme de chacun, ainsi qu'à respecter un cahier des charges au maximum. Comme nous l'espérions notre jeu respecte nos attentes et a tout fait réussi à retranscrire un « vieux » jeu d'arcade en un jeu remastérisé moderne. Sans compter les problèmes et les dates buttoirs qui arrivaient à grands pas nous avons pris un réel plaisir à créer notre propre jeu. De plus nous sommes très fières que celui-ci est disponible sur le Play Store comme une vraie application. Ce travail a enrichi nos expériences professionnelles et va beaucoup nous aider pendant nos futures années à Epita. Il y a évidemment eu des points que nous aurions dû corriger plus tôt dans le projet qui aurait pu améliorer le développement du projet. Mais au final ce projet a été une très bonne expérience.



Lexique

- 1. IA** :Ensemble des théories et des techniques développant des programmes informatiques complexes capables de simuler certains traits de l'intelligence humaine (raisonnement, apprentissage...).
- 2. Gameplay** : Terme qualifiant la convivialité, la maniabilité, la fluidité, etc., d'un jeu vidéo.
- 3. VR** : La réalité virtuelle (ou Virtual Reality en anglais) est une expression qui désigne les dispositifs permettant de simuler numériquement un environnement par la machine (ordinateur).
- 4. Unity** : Unity est un moteur de jeu multi-plateforme
- 5. Map** : La map est une "abréviation" pour désigner le monde où l'on joue
- 6. HTML** : L'Hypertext Markup Language, plus communément désigné sous son acronyme HTML, est employé pour faire référence à un langage informatique qui permet de mettre sur internet des données rédigées.
- 7. Minimap** : Littéralement "Mini-Carte". Désigne une version réduite de la carte qui reste affichée sur une petite partie de l'écran pendant le jeu.
- 8. Script** : Un programme ou un bout de programme informatique qui va exécuter une fonction à la suite d'une action utilisateur.
- 9. NavMeshAgent** :Ce composant est attaché à un personnage mobile dans le jeu pour lui permettre de naviguer dans la scène en utilisant le NavMesh.
- 10. Matrice** : Tableau à deux dimensions
- 11. NetworkManager** : Elément du framework unity permettant la super-vision et le contrôle du comportement des fluxs réseau.

12. Scène : Permet de placez les environnements, obstacles et décorations, essentiellement en concevant et en construisant votre jeu en morceaux.

13. Layer : Permet d'identifier une famille d'objet dans le jeu.

14. AudioSource : C'est un composant des objets dans Unity, il possède plusieurs mode pour activer le son.

15. AudioMixer : C'est un outil qui permet contrôler le volume des élément qui lui sont associer.

16.CSS : Le terme CSS est l'acronyme anglais de Cascading Style Sheets qui peut se traduire par "feuilles de style en cascade". Le CSS est un langage informatique utilisé sur l'internet pour mettre en forme les fichiers HTML ou XML. Ainsi, les feuilles de style, aussi appelé les fichiers CSS, comprennent du code qui permet de gérer le design d'une page en HTML.

17. PHP : Le PHP est un langage informatique utilisé sur l'internet. Le terme PHP est un acronyme récursif de "PHP : Hypertext Preprocessor". Ce langage est principalement utilisé pour produire un site web dynamique. Il est courant que ce langage soit associé à une base de données, tel que MySQL.

18. Level Design : Conception et création de la map

19. Plane : Une surface plate limiter.

20.Skybox : C'est une enveloppe autour de toute la scène Unity qui montre à quoi ressemble le monde au-delà de la géométrie du jeu.

21. Nom de domaine : C'est un nom permettant d'identifier un site sur Internet. Par exemple, sur <https://www.google.com> ici le nom de domaine est "google"

22. Extension de domaine : C'est le suffixe situé à droite du nom de domaine. Par exemple, sur <https://www.google.com> ici l'extension de domaine est ".com"

23. Protocole de communication : C'est l'ensemble de règles assurant la transmission de données entre deux ordinateurs, deux composants d'un ordinateur ou deux programmes. Par exemple, sur <https://www.google.com> ici le protocole de communication est "https" et "s" pour sécurisé

24. Template : Désigne l'enveloppe graphique d'un site Internet, indépendamment de son contenu.

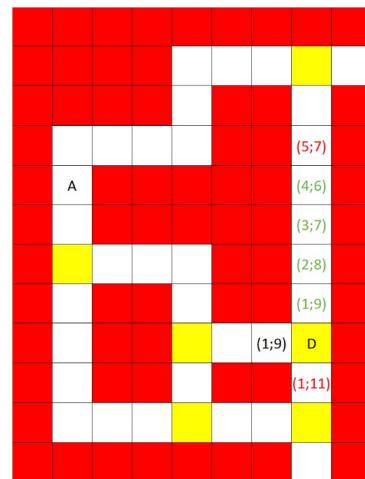
25. Gyroscope : Appareil tournant autour d'un axe qui fournit une orientation constante.

5 Annexes

5.1 Exemple de recherche du chemin

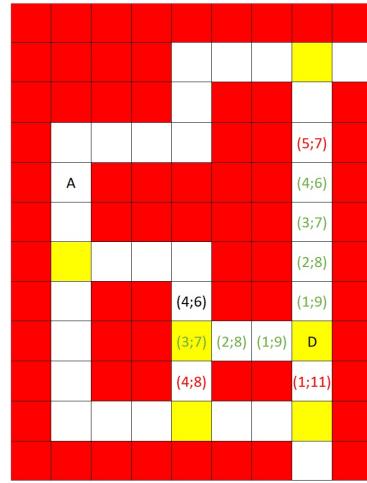
D pour départ et A pour arriver. Chaque case possède deux éléments : (distance de D à la case ; distance de A à la case), le coût correspond à la somme de ces 2 éléments.

5.1.1 Etape 1



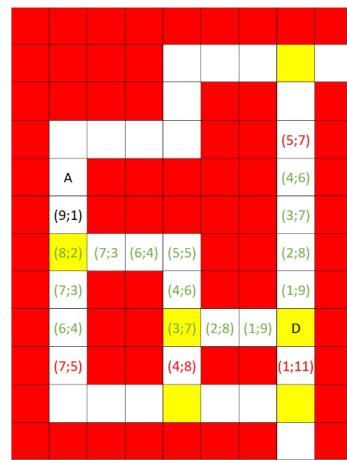
La case en haut et la case à gauche de D ont le même coût donc on monte jusqu'à la case en rouge qui a cout de 12 c'est pour cela que le programme s'arrête ici et recommence à gauche de D.

5.1.2 Etape 2



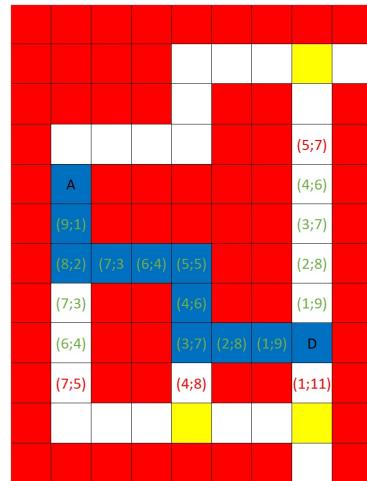
Le programme prend le chemin de gauche jusqu'à la case (5 ;7) on remarque que le chemin du bas est plus coûteux que le chemin qui monte.

5.1.3 Etape 3



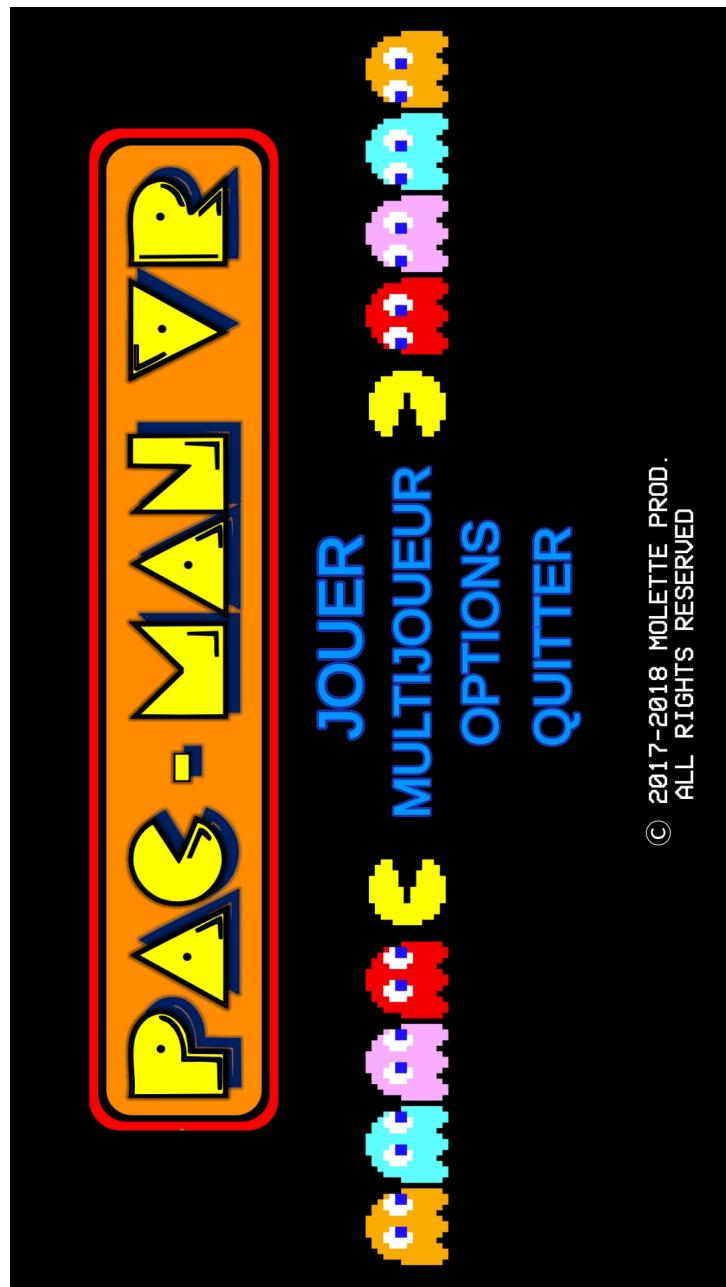
A la prochaine intersection le chemin du haut est aussi coûteux que celui du bas jusqu'à la casse (7 ;5) donc c'est le chemin du haut qu'il faut prendre.

5.1.4 Etape 4



Comme la case d'après est l'arrivée on retrace le chemin.

5.2 Menu du jeu



5.3 Gameplay première personne

