

Mémoire de stage

BUT MMI A3 / 2023 - 2024

HUGO CAPDORDY

Remerciements

Je tiens à remercier Gilles Bié, président fondateur d'X-R Solutions, qui m'a donné de précieux conseils et sa confiance avec Timothée André, business developer à X-R Solutions.

Merci à Téo Mouyebe, Ingénieur R&D MR/VR à X-R Solutions, qui m'a aidé et vers qui j'ai pu me référer lorsque j'étais en difficulté dans mes missions.

Je souhaite aussi remercier Maxime et Léa pour m'avoir hébergé pendant la durée du stage.

Merci également à Djemaï Kebbal, enseignant-chercheur à l'IUT de Tarbes, pour le suivi du stage ainsi qu'à Marie Pierre Arnal, responsable des stages, pour avoir validé ma demande, en retard, de stage.

Sommaire

Introduction	4
Présentation de l'entreprise	5
Environnement de travail	7
La communication externe	8
Les missions	9
Création de l'environnement	14
Intégration de l'application dans un simulateur de vol	16
Intégration de vidéo	17
Géo Spatialisation	19
Synthèse	22
Conclusion	23
Annexes	24

Introduction

L'année dernière j'ai réalisé mon stage dans une agence de communication mais mon intention de base était de travailler dans un studio de jeux vidéo ce qui était approximativement toujours le cas lors de mes recherches de cette année.

Au cours de cette troisième année de BUT MMI, une envie s'est créée de me spécialiser dans le développement sur des moteurs de jeu et m'a amené à orienter mes recherches de stage vers des studios de jeux vidéo. Je ne me fermait pas uniquement à ce milieu là mais le développement sur Unity ou Unreal est très courant dans ce secteur.

Avec mon expérience des projets en VR effectués durant l'année et ma présence au Laval Virtual, j'ai également cherché du côté de la réalité virtuelle pour élargir mes possibilités, toujours dans l'optique de travailler sur des moteurs 3D.

Des recherches sur Google Maps me permettent de trouver le site web d'X-R Solutions et, après plusieurs candidatures non concluantes dans ce milieu, je décide que ma candidature envoyée à cette entreprise sera ma dernière en me disant que j'aurais peut-être plus de chance si je m'oriente vers des agences web ou de communication.

Rapidement je reçois une réponse et un entretien est planifié durant lequel on m'explique l'intérêt porté à ma candidature, les potentielles missions ainsi que le travail en autonomie que j'allais devoir exercer. Tout était déjà clair sur ce qui m'attendait. La clarté et la confiance ont été deux éléments importants avant même que le stage ne démarre.

Présentation de l'entreprise

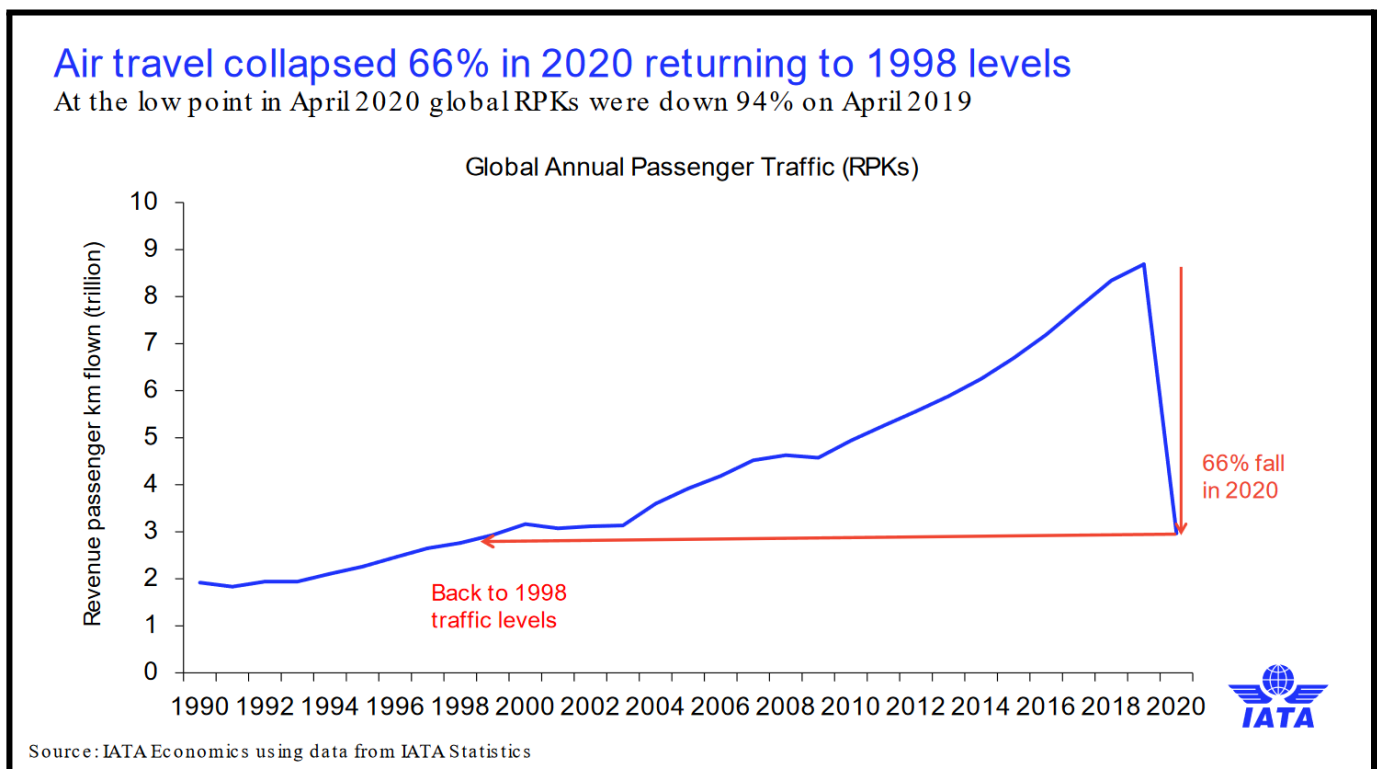
X-R Solutions est une start-up (SAS) fondée en 2021 par Gilles Bié, ingénieur aéronautique, diplômé d'HEC Paris et Expert-Pilote de ligne, de développement d'un système de formation pour pilote basée sur la réalité étendue. La société se situe à Mérignac en Gironde.

L'entreprise compte trois personnes lors de la période du stage :

- Gilles Bié, Président Fondateur
- Timothée André, Business Developer (associé d'X-R Solutions), Ingénieur ENAC
- Téo Mouyebe, Ingénieur R&D MR/VR

Ce nouveau modèle de formation est une réponse à la constante croissance du trafic aérien, nécessitant la formation de plus en plus de pilotes de ligne, et à la pandémie de COVID-19 qui a remis en question les méthodes d'apprentissage.

Suite aux mesures de sécurité liées à la pandémie, réduisant l'usage des moyens de transports afin d'éviter la propagation du virus, l'année 2020 se retrouve être la pire année que les compagnies aériennes n'aient jamais connu. Les pertes des compagnies aériennes se sont élevées à plus de 400 milliards de dollars¹.



Malgré cela, le secteur de l'aviation s'est relevé et croît de nouveau pour revenir au niveau d'activité dans lequel il était pré-confinement et même le dépasser.

La remise en vol du secteur de l'aéronautique demande l'effort de toutes les parties prenantes y compris la formation. Le nombre de nouveaux pilotes est estimé à 605 000 d'ici 2039 d'après le rapport *BOEING MARKET OUTLOOK 2020-2039*.

¹ KPMG – The aviation industry leader report 2021 – Route to recovery

La réalité étendue dans la formation des pilotes se positionne en complément du simulateur qui pour le moment est l'outil de prédilection pour la formation mais est contraignant sur certains aspects. L'utilisation de ce dispositif est planifiée, ce qui oblige les pilotes à un planning contraignant et lorsqu'ils ont besoin d'entraînements supplémentaires, obtenir des créneaux peut être compliqué. La centralisation de ces machines nécessite des déplacements y compris à l'étranger, ce qui n'était plus possible lors du confinement et constitue avec les révisions sur tablette les seuls moyens de s'entraîner.

L'impossibilité d'accès aux simulateurs et aux avions à cause du COVID-19 a eu pour conséquence une perte de compétence chez les pilotes.

La réalité étendue permet de répondre à plusieurs problématiques et besoins évoqués plutôt. L'objectif d'X-R Solutions est de proposer, sous forme de SaaS en partenariat avec Air France, une plateforme dédiée aux pilotes mettant à l'œuvre la réalité virtuelle, augmentée et mixte pour répondre aux différents besoins d'apprentissage.

PESTEL

Politique	- plan sauvegarde économie - baisse possible subventions - concertation entre pays
Economie	+ secteur de l'aéronautique en croissance + très forte expansion portée essentiellement par l'Asie
Social	+ nouveau mode de travail, équilibre privée/pro + pyramide des âges vieillissante - impossibilité de franchir certaines frontières
Technologique	+ avancée de la RV/RA + eye-tracking - sécurité des données (vol) - acceptabilité des + âgés - concurrence à venir forte
Environnement	- outils actuels énergivores - flygskam (honte de prendre l'avion) + volonté croissante de RSE + remote tracking, moins de déplacements
Législation	- craintes sur la maîtrise et la propriété des données + coûts formation importants - France régie par autorité EU (EASA) - fournisseurs hors France

Environnement de travail

X-R Solutions se situe à Mérignac au Cockpit, siège social de Technowest proche de l'aéroport, dans lequel j'ai travaillé durant les 12 semaines de stage.

Technowest est présent à Bordeaux Métropole sur plusieurs sites aux thématiques différentes dont le Cockpit qui accompagne les start-up dans le domaine de l'aéronautique, de l'espace et de la défense.



Une particularité de mon stage est le travail en autonomie dont j'ai dû faire preuve. Lors de l'entretien d'embauche, Gilles et Timothée m'ont expliqué qu'ils travaillent pour X-R Solutions en plus de leur profession actuelle chez AIR FRANCE et que Téo télétravaille depuis Paris. J'étais donc seul dans cet environnement pour accomplir les missions.



Cette situation particulière fait que le principal canal de communication était un groupe WHATSAPP dans lequel nous pouvions discuter ce qui permettait que tout le monde soit au courant de l'avancée des projets. J'ai également échangé par mail avec Téo pour l'envoi de fichiers ou de ressources. Plus ponctuellement, les échanges pouvaient aussi passer par l'envoi de SMS et par des appels téléphoniques.

Néanmoins, un rendez-vous hebdomadaire en présentiel avec Gilles chez Technowest a été fixé pour faire le point sur l'avancée des missions et sur le stage en lui-même.

En somme je ne me suis jamais senti réellement seul. L'importance des missions nous a amené à souvent échanger et le fait que l'équipe soit réduite permettait que tout le monde soit rapidement au courant de l'avancée du projet.

La communication externe

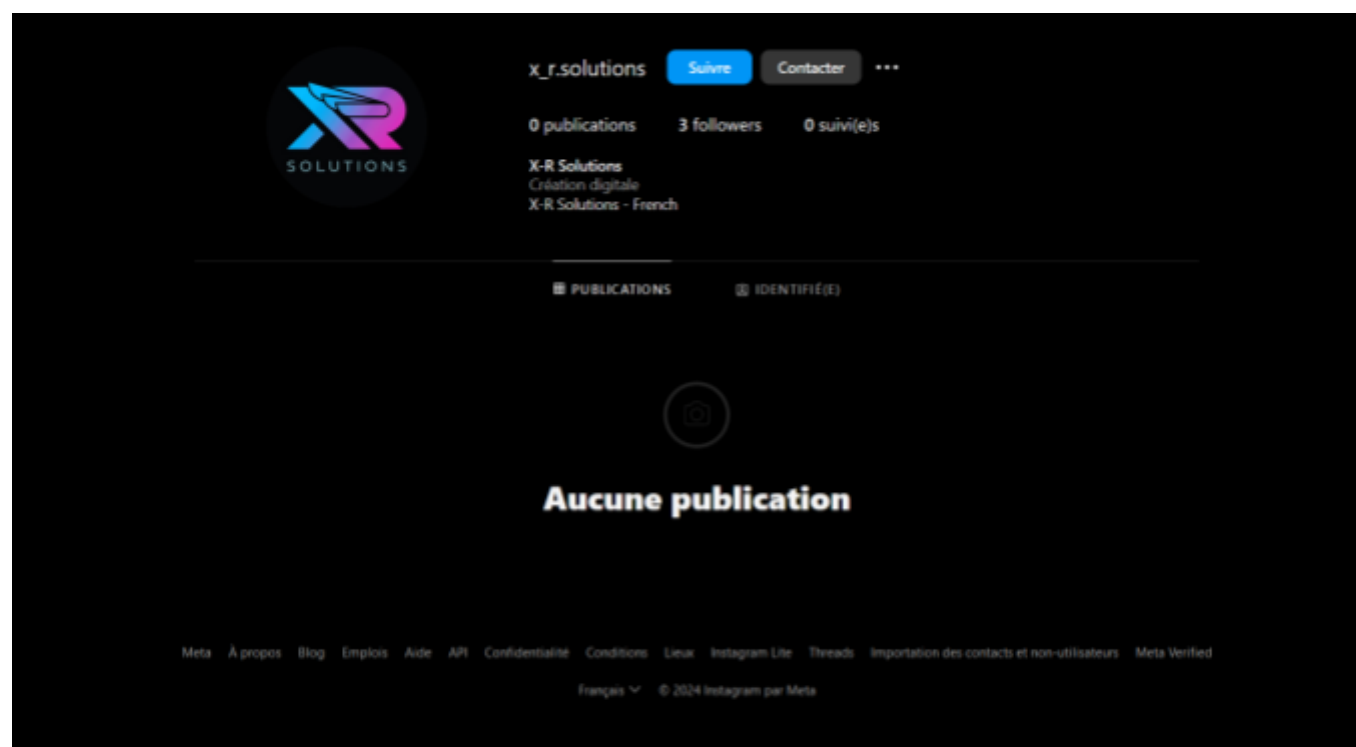
L'entreprise étant au stade de recherche et développement, elle ne communique que très peu voir pas du tout. Sa présence en ligne s'en tient à un site Web pour présenter la société avec un LinkedIn et un Instagram mais sont tous deux inactifs.

Pour le moment X-R Solutions reste sous les radars pour éviter de potentielles fuites d'idées et parce que pour le moment le service n'existe tout simplement pas encore. La présence en ligne est déjà en place mais l'activité en ligne n'a pas encore démarré.

X-R Solutions se fait connaître dans un premiers temps lors de présentations du projet auprès des professionnels du milieu de l'aviation.



site web d'X-R Solutions



Instagram d'X-R Solutions





X-R Solutions

Simulateur de Vol en Réalité Etendue

Fabrication de composants pour l'industrie aéronautique et aérospatiale
Saint-Médard-en-Jalles, Nouvelle-Aquitaine · 148 abonnés · 2-10 employés

[✉ Envoyer un message](#) [✓ Suivi](#) [...](#)

[Accueil](#) [À propos](#) [Posts](#) [Emplois](#) [Personnes](#)



X-R Solutions
148 abonnés

Consultez une collection de publicités actives ou passées de X-R Solutions.
[Voir la bibliothèque de publicités](#)

[Tous](#) [Images](#) [Vidéos](#) [Articles](#) [Documents](#)

Classer par : **Pertinence** ▼



Encore aucun post

Revenez plus tard pour voir les posts.

LinkedIn d'X-R Solutions

Les missions

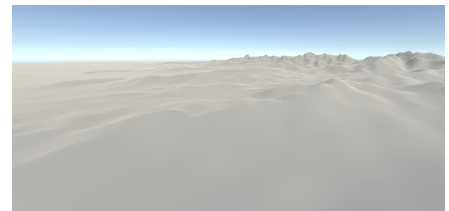
À mon arrivée à X-R Solutions, les missions qui m'ont été confiées ne s'inscrivaient pas directement dans un projet en particulier mais répondaient à des besoins généraux liés à l'application en cours de développement. Ce n'est que plus tard qu'un projet plus important s'est lancé.

Liste des missions confiées :

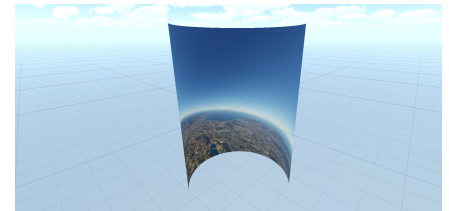
veille de modèles 3D de pilotes de ligne
animation d'avatars (Unity)
modification d'avatars sur Blender
2 semaines



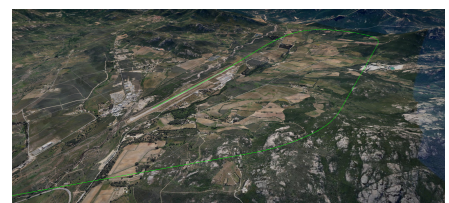
veille de modèles 3D d'aéroports
création d'environnement 3D (Unity)
développement d'un système de trajectoire (Unity)
2 semaines



veille des simulateurs de vol
test des possibilités sur X-Plane 12
intégration d'une vidéo d'X-Plane (Unity)
2 semaines



création d'une approche (Unity)
3 semaines



L'application citée plus tôt vise, au travers de la XR, la formation de pilotes de ligne ce qui englobe l'acquisition de plusieurs compétences. Le projet étant encore émergent, l'apprentissage interactif d'une checklist "preflight" sert de preuve de concept et de démonstration.

Cette checklist doit être doublement vérifiée, par le pilote et le copilote, or l'utilisateur se trouve seul lors de l'apprentissage. Pour remédier à ce problème, deux solutions sont envisagées : une scène multijoueur pour deux pilotes physiquement présents ou une scène à un seul pilote accompagné par un pilote numérique.

Un modèle est déjà présent mais comporte des défauts et des problèmes de textures en plus de la nécessité de modèles de genres et d'origines différentes par souci d'inclusivité et de politiquement correct.

Mes recherches débutent sur des sites en ligne de modèles 3D comme la marketplace d'Unreal Engine qui propose généralement des assets de bonne qualité en adéquation avec les rendus réalistes du moteur. Ayant déjà travaillé sur Unreal, je suis familier avec le format propriétaire de ce moteur le ".uasset" non lisibles par Unity. La conversion de format de fichiers est possible grâce à un plugin bien que mes recherches sur ce site n'ont pas abouti.

En poursuivant sur des sites spécialisés : Sketchfab, Turbosquid et cgtrader, une proposition de modèle est présente. Ces sites donnent des informations importantes telles que la présence ou non d'un squelette pour l'animation qui dans le cadre de ma mission est une information intéressante car le modèle du pilote devra être animé.

En me basant sur la recherche de modèle de pilote de ligne je ne trouve rien de vraiment concluant, les résultats de recherches ne proposent que des pilotes de lignes masculins caucasiens bien que la qualité en elle-même soit bonne. Une des solutions à ce problèmes pourrait être par exemple de trouver un modèle de femme et lui rajouter les modèles des vêtements du pilote de ligne ce qu'il m'a été demandé de faire pour savoir s'il s'agissait d'un moyen viable de répondre à ce souci de diversité. Après modification sur Blender, en adaptant la taille et la forme des vêtements, le résultat n'est pas probant, la chemise paraît froissée même si le résultat global semble correct et que le modèle reste exploitable.

Included 3D formats	Autodesk FBX (.fbx) GLTF (.gltf) USDZ (.usdz) GLB (.glb)
Download size	287MB See all files
Geometry	Triangles 6.8k Quads 28k Polygons 54 Total triangles 63k
Vertices	47k
PBR	No
Textures	21
Materials	9
UV Layers	Yes
Vertex colors	Yes
Animations	1
Rigged geometries	Yes
Morph geometries	0
Scale transformations	No

spécifications des modèles sur Sketchfab

Après réflexion je me suis demandé s'il existe des générateurs de modèles 3D d'humains à l'instar d'un menu de création de personnage présent dans certains jeux vidéo. Cela permettrait de créer facilement ce dont le projet a besoin plutôt que de passer du temps à chercher un modèle répondant aux attentes.

Après quelques recherches, deux plugins pour Blender et un logiciel à part entière répondent à ces besoins.

MB-Lab	Human Generator	Character Creator
plugin pour Blender	plugin pour Blender	standalone
Gratuit et open-source	68\$ (128\$ pour une utilisation commerciale)	299\$ (199\$ pour l'offre de bienvenue)
qualité des models réduites	- plus poussé que MB-Lab - bibliothèque d'assets	- prévu pour fonctionner avec Blender et Unity - bibliothèque d'assets - qualité des modèles élevée

Par la suite, j'ai travaillé sur l'avatar déjà présent dans le projet afin de l'animer pour qu'il interagisse comme le ferait un copilote lors des actions de l'utilisateur. La réutilisabilité des animations dans Unity permet de travailler sur ce modèle même s'il est amené à être remplacé.

Pour rappel, ce modèle 3D comportait des problèmes de textures qui se manifestaient lorsque l'avatar prenaient une autre position que la T-Pose, en position assise par exemple. En inspectant, la texture de la peau passait par-dessus la texture du pantalon. Mes recherches m'ont permises d'appliquer des correctifs sur Blender, en supprimant les faces cachées par les vêtements, dont le résultat a été jugé probant.

L'objectif d'animation du modèle visait à lui faire poser la main sur le trackball et lui faire bouger la tête pour que son regard s'oriente vers l'écran central. Les échanges constructifs avec Téo m'ont apporté les clés pour mener à bien ce projet.



la peau du modèle passe par dessus le pantalon

Je n'ai pas moi-même animé le personnage, l'animation assise provient de Mixamo, un site web de modèles 3D et d'animations, par contre le mouvement de bras et de tête ont été possible grâce à un package Unity permettant de créer des mouvements basés sur des points clés. La main se déplace de sa position initiale vers une position clé avec une contrainte de mouvement pour éviter des faux mouvements au niveau du coude.

D'autres modifications ont dû être réalisées sur le modèle par souci de cohérence des uniformes afin de différencier le pilote commandant de bord du copilote. Le pilote commandant de bord possède 4 galons sur chaque épaule tandis que le copilote n'en possède que 3.



Les pilotes de lignes acquièrent différentes compétences lors de leur formation initiale et afin de les maintenir sont ensuite testés sur simulateur de vol afin de proroger leur licence tous les 6 mois durant leurs carrières. Dans l'objectif d'étendre ces procédures pour cibler plusieurs compétences, X-R Solutions doit développer des mises en situation qui répondent à ces besoins.

La deuxième partie de mon stage se focalise donc sur le développement dans Unity d'un scénario d'approche particulière, nommée "Catégorie C" ; en effet, lorsque les approches sont effectuées en milieu montagneux ou en altitude, les pilotes suivent une formation préalable (sous forme de visionnage d'une vidéo + séance de simulateur).

Le but de ce projet est d'étudier la faisabilité de réaliser cette formation au travers d'un casque de Réalité Mixte.

Ma mission consiste à étudier les différentes manières de réaliser un environnement 3D virtuel le plus réaliste possible, et d'y intégrer la scène de l'A220 (AIRBUS A220) créé par X-R Solutions.

La problématique de ce projet réside dans le développement de l'environnement.

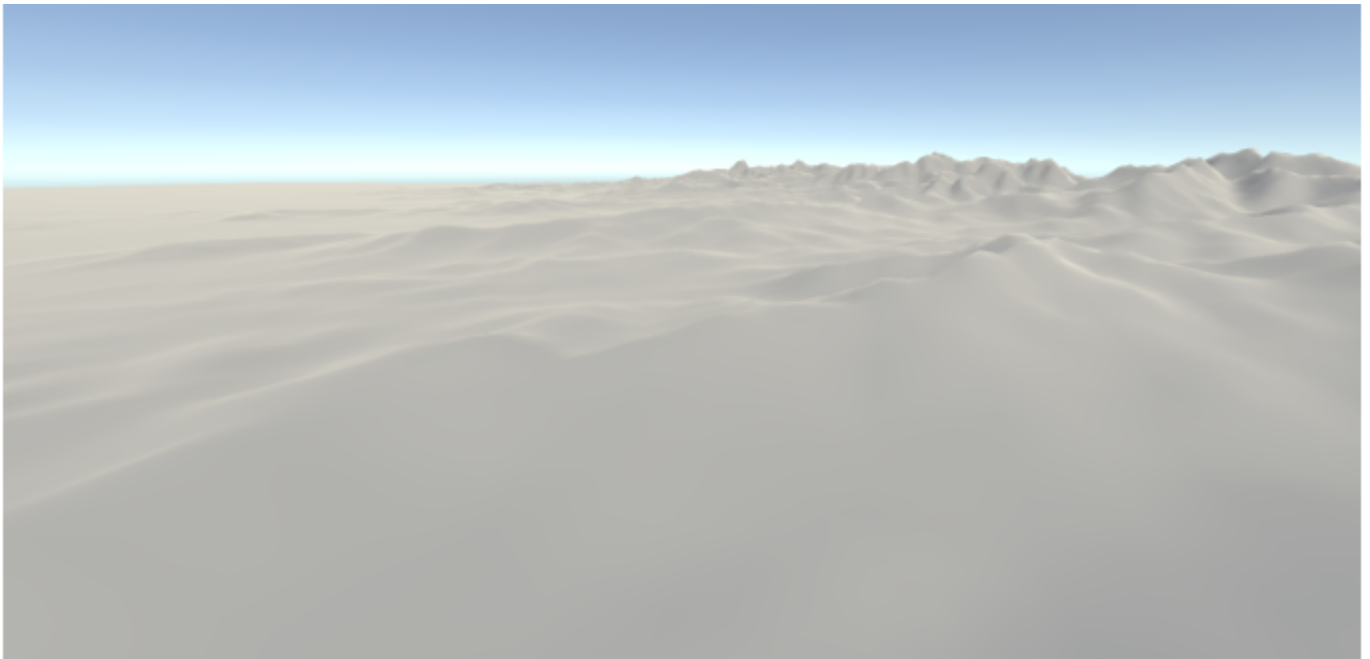
Comment recréer un environnement réel dans le virtuel ?

4 possibilités à explorer :

- la création de l'environnement avec des assets d'aéroport trouvés sur le Web
- l'intégration de l'application dans un simulateur de vol
- l'intégration d'une vidéo de l'approche dans Unity
- la modélisation via la géo spatialisation

Création de l'environnement

Cette piste d'exploration consiste à évaluer s'il est possible de tout créer nous-même en assemblant les différents éléments d'environnement entre eux pour concevoir une scène simulant l'aéroport d'Ajaccio et les alentours. J'ai donc à nouveau fait de la veille pour trouver des modèles 3D (tours de contrôle, pistes d'atterrissage et aéroports complets) même s'ils diffèrent avec la réalité. J'ai effectué mes recherches sur les sites où j'ai trouvé les modèles d'avatar et au vu du nombre de résultats, j'ai listé mes recherches dans un Google Sheet pour une meilleure lisibilité. Le plus complexe provient de la création de l'environnement naturel. Modéliser un paysage prendrait trop de temps j'ai donc pensé à utiliser une heightmap d'Ajaccio et grâce un package d'Unity la convertir en modèle 3D. Le résultat n'est pas à la hauteur pour le projet, les reliefs



heightmap

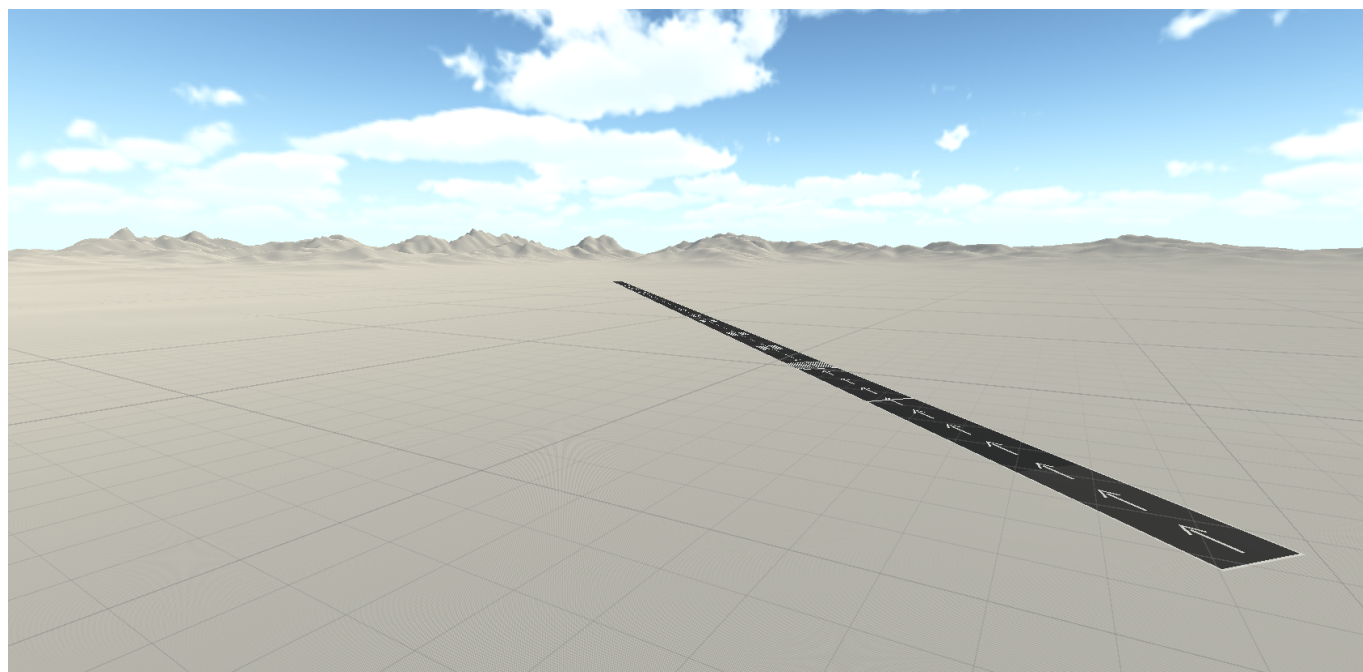
créés manquent de détails pour avoir des points des repères qui sont utiles lors de l'approche. Dans un deuxième temps j'ai également tenté de développer un système de trajectoire par moi-même sans que cela soit concluant. Ce système permet de déplacer un objet d'un point à un autre grâce à des interpolations de positions. J'ai nommé les points "Pos", pour position, suivi d'un chiffre allant de 0, pour la position de départ, au nombre de points à parcourir afin de s'y retrouver facilement dans l'ordre de passage. Le script que j'ai écrit stocke tous les objets avec le tag "KeyPoint", qui sont les points de passage de l'approche, et les range alphabétiquement dans un array pour préserver l'ordre de passage. Cet array est ensuite parcouru via une boucle qui récupère le transform.position et exécute l'interpolation de chaque point. La fonction d'interpolation a besoin pour fonctionner de trois arguments : la valeur de départ, la valeur d'arrivée et la valeur d'interpolation comprise entre 0 et 1. Cette dernière définit l'avancée de l'objet dans l'interpolation, à 0 l'objet est à la position du premier point, à 0.5 il est à mi chemin et à 1 il est au deuxième point. Pour créer le mouvement, il faut incrémenter cette valeur selon la vitesse de l'avion qui, avec la distance entre deux points, permet d'obtenir la durée d'interpolation ($d / v = t$).

La division d'une variable, déclarée à 0 et qui s'incrémente avec le temps, par la durée me permet de faire fonctionner l'interpolation. La fonction d'interpolation est appelée via une coroutine pour une meilleure gestion du temps. Cela permet entre autres d'être certain qu'une interpolation soit finie avant de passer à la suivante dans la boucle.

Les "KeyPoints" ont également un script avec une variable qui définit la vitesse que doit avoir l'avion à ce point et une variable pour savoir si la trajectoire à partir de ce point doit être courbée ou non. Ces variables sont récupérées par le script principal pour permettre des interpolations de vitesses et les trajectoires en courbe.

Ces deux dernières caractéristiques sont manquantes, les changements de vitesse sont problématiques dans mon script car la durée d'interpolation est définie par la vitesse actuelle. Si la vitesse est aussi interpolée, cela modifie également la durée d'interpolation des position ce qui dans mon script n'est pas fonctionnel.

Les virages en courbes quant à eux ne suivent pas toujours le prolongement logique de la trajectoire, l'avion peut aller dans un sens puis partir dans l'autre au passage d'un point de début de courbe.



[vidéo du système de trajectoire en exécution](#)

Intégration de l'application dans un simulateur de vol

Les simulateurs de vol disposent déjà d'un système de pilotage et surtout d'un environnement extérieur 3D. Il m'a été demandé de faire des recherches sur les possibilités de développement et d'intégration des différents simulateurs existants sur le marché. Partant du constat qu'il était possible d'intégrer dans un jeu type MFS un cockpit "personnalisé", ma mission fût d'étudier les possibilités d'intégrer notre propre scène dans un jeu vidéo.

J'ai listé 5 simulateurs avec l'aide de Gilles et Timothée pour les plus niches :

- Microsoft Flight Simulator (MFS)
- X-Plane
- Digital Combat Simulator (DCS)
- Prepar3D
- Aerofly FS

Mes recherches se concentrent dans un premiers temps sur l'existence ou non d'un SDK (Software Development Kit) ce qui permettrait de modifier le jeu pour intégrer l'application. Sans cet accès aux outils de développement du jeu il serait plus complexe d'effectuer le moindre ajout ou modification.

MFS	X-Plane	DCS	Prepar3D	Aerofly FS
SDK présent	SDK présent	réservé aux développeurs, accessible via une demande sous certaines conditions	SDK présent	SDK présent

En me renseignant sur chacun des simulateurs, certains disposent d'outils conçus par les développeurs ou parfois par les communautés qui font vivre les jeux, pour créer des scènes ou des avions.

MFS	X-Plane	Prepar3D	Aerofly FS
une section de la documentation du SDK indique comment créer son propre avion	WorldEditor (pour la création de paysages et d'aéroports) Plane Maker (pour la créations d'avions)	non disponible	GeoConvert (création d'images aériennes et de modèles numériques de terrains)

Le support de la VR par les jeux est aussi un élément important à prendre en compte de par la nature du projet.

MFS	X-Plane	Aerofly FS
support natif	support natif	support natif

Le choix s'est tourné vers X-Plane qui propose plus d'outils et semble mieux adapté au développement. X-R SOLUTIONS a donc acheté une licence X-PLANE 12, afin que je puisse poursuivre mes recherches.

Au vu de la complexité de la tâche, cette piste d'exploration fût mise de côté afin de privilégier le temps et le travail sur les autres idées.

Intégration de vidéo

Une des solutions s'appuie sur l'affichage d'une vidéo de l'approche prise depuis le cockpit pour créer une illusion de mouvement.

Mais comment capturer en vidéo l'approche de ce point de vue ? Capturer la sortie vidéo d'un vrai simulateur de vol est possible mais des autorisations sont nécessaires et les scénarios de vol changent tous les 6 mois il faudrait donc savoir s'il est possible d'obtenir l'approche souhaitée.

Après l'achat d'une licence d'X-Plane 12, l'idée de capturer en vidéo le jeu est venue. Cette mission m'amène à travailler sur X-Plane et à explorer les possibilités de celui-ci pour le projet. Dans un premier temps l'objectif d'obtenir l'approche demande le pilotage de l'avion mais n'étant pas un connaisseur aguerri de ce genre de jeu, je cherche un moyen de contourner ce problème. Malgré plusieurs tentatives d'approche et d'atterrissage manuel, je juge qu'aucune n'est assez soignée et précise pour être exploitable, faute d'expérience dans ce domaine.

Une IA présente dans le jeu permet de simuler un trafic aérien sans la possibilité de substituer le pilotage de l'avion par l'utilisateur. Elle se déplace d'aéroport en aéroport aléatoirement et atterrit selon le type d'avion et uniquement sur des aéroports contrôlés (avec une tour de contrôle). Bien que ce soit la cas pour Ajaccio, l'IA survole l'aéroport. Sur ce point aussi, j'ai essayé différentes manières de procéder sans résultats probants.

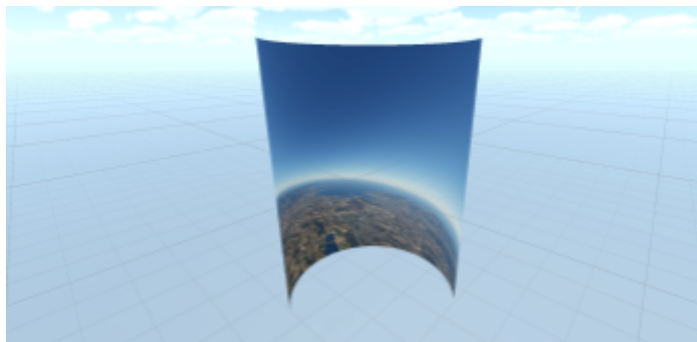


capture d'écran d'X-Plane 12

Entre-temps je teste si une capture vidéo du jeu intégré dans Unity fonctionne pour éviter une perte de temps dans d'autres recherches si cette idée n'est pas convaincante d'elle-même.

La vidéo doit s'intégrer sur un plan courbé pour recouvrir le champ de vue du cockpit et créer une impression d'immersion. Avant d'enregistrer mon écran je change quelques paramètres d'X-Plane. Par défaut la vue se trouve dans le cockpit mais il est possible de passer sur une vue sans le visuel du cockpit pour obtenir uniquement le paysage et éviter le visuel de deux cockpits, celui dans Unity et celui de la vidéo d'X-Plane. Un paramètre dans les options permet de modifier la taille du champ de vision pour obtenir une vision plus panoramique qui s'adapte mieux à la courbure du plan.

Lors des tests réalisés avec un casque de réalité virtuelle, l'image est floue et des artefacts apparaissent à l'horizon et la qualité globale est loin d'exceller mais l'immersion fonctionne et est très bonne. Une capture vidéo sur un écran d'une meilleure définition pourrait en partie résoudre les problèmes d'images.



capture vidéo intégrée sur un plan courbé

À ce moment du projet Gilles me propose de poursuivre mes investigations sur l'aéroport de Calvi, connu pour être particulièrement complexe d'un point de vue pilotage, je continue mes recherches pour trouver un moyen d'atterrir correctement sur cet aéroport.

Je me renseigne sur le fonctionnement des systèmes de pilotage automatique permettant à l'avion de se déplacer correctement de point à point à partir de plan de vol. Ces plans peuvent être créés sur des sites comme SkyVector mais cela ne semble pas possible pour les plans d'approche. Le pilotage automatique suit les trajectoires des plans d'approche néanmoins l'accès à la création ou à l'ajout pourrait être réservé au développeur du jeu. En cherchant directement dans les dossiers du jeu grâce au code OACI de l'aéroport de Calvi, je trouve un fichier "LFKC.dat" contenant plusieurs lignes de données difficilement compréhensibles. Le supprimer et revenir sur le jeu m'a permis de comprendre que ce fichier contenait les données des approches car elles disparaissaient une fois de retour dans les menus. J'en déduis donc que les plans d'approches doivent s'ajouter depuis ce fichier mais cela demanderait encore du temps de rechercher un moyen de modifier ces données ou d'en rajouter.



carte d'approche dans X-Plane 12



rendu de la vidéo intégrée sur le plan courbé vu depuis le cockpit dans Unity

Géo Spatialisation

Parallèlement à moi, Téo travaille sur une autre solution de création d'environnement basée sur Cesium, une bibliothèque et plateforme open-source de données géospatiales en trois dimensions et de suite d'outils pour développer des applications basées sur ces données. Cesium est disponible sur différents logiciels : Unreal Engine, NVIDIA Omniverse, en bibliothèque JavaScript pour une visualisation sur le Web ainsi qu'Unity en tant que package.

Ce plugin permet de modéliser l'environnement du monde réel dans un projet Unity grâce aux données stockées. À partir de coordonnées GPS (latitude, longitude et altitude), Cesium crée des tuiles autour de ce point pour modéliser et texturer le monde réel. Les données étant stockées sur des serveurs, ce processus fonctionne en streaming lors de l'exécution de l'application demandant une connexion Internet stable et un débit Internet minimum pour fonctionner convenablement. En plus de la modélisation des reliefs, la possibilité d'ajouter des tuiles photoréalistiques de Google permet de modéliser les structures artificielles.



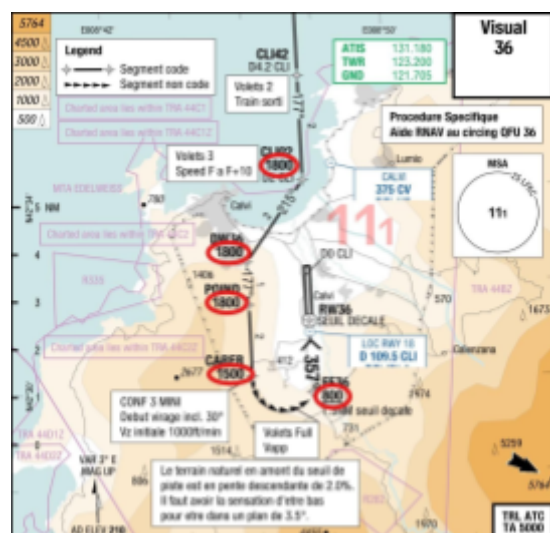
Téo m'a par la suite confié le projet Unity sur lequel il travaillait pour que j'établisse la trajectoire à partir des points clés de l'approche et la vitesse selon la progression de l'avion. Ce travail ressemble au système d'approche dans lequel je m'étais lancé cependant Téo avait trouvé un package pour faire se déplacer des objets le long d'une courbe de bézier facilement ajustable à partir de points. Ces points sont créables depuis la courbe à la volée ou à partir d'objets présents dans la scène. Dans le dernier cas, la courbe passera par les différentes positions des objets sélectionnés.

En plus de cela, Téo avait également écrit un script pour le déplacement de l'avion le long de la courbe, il restait encore à positionner correctement les points et établir les vitesses.

L'objectif premier est de positionner ces points selon les points clés de la carte d'approche. Dans Unity les objets se positionnent grâce au Transform selon 3 axes : X, Y et Z ce qui diffère avec la réalité, les points de l'approche sont positionnés selon des coordonnées GPS. Le pont permettant de faire le lien entre la position dans Unity et la position géographique provient de Cesium qui par défaut pour fonctionner demande des coordonnées comme expliqué plus tôt mais dispose également de Component pour positionner des objets géographiquement. Tout GameObject dans une scène d'Unity est composé d'un Transform, ajouter un Component pour la position géographique permet de correctement positionner un point selon la réalité en plus d'être utilisable par la courbe comme point de passage.

	Altitude (m)	Vitesse (km/h)
CL170	483	30
CL142	484	30
CL102	484	40
CL156	484	40
CL110	396	90
CL100		
↓ Virage 3 ^e intersection à gauche		
CL136 (entrée du virage)	183	65
CL136 (sortie du virage)	15	65
↓ Alentour sur la 2 ^e intersection droite	0	65
↓ Arriver rectangle blanc	0	0

vitesse à chaque points de l'approche



carte d'approche de l'aéroport de Calvi

Les coordonnées des points de l'approche m'ont été transmises par Téo, afin de positionner précisément la trajectoire, et les vitesses par Gilles.

Lors d'une approche la vitesse de l'avion ne diminue pas linéairement du début à la fin mais décroît par palier, décélérant ou stagnant point à point. Ces points correspondent à ceux sur la carte d'approche, le changement de vitesse doit donc se faire ou non selon le passage d'un point.

Le script que j'ai écrit ne se base pas directement sur ces passages mais sur la distance parcourue par l'avion. Tous les points se situent à une certaine distance sur la courbe, allant de 0 à la longueur de la

courbe, en notant la distance parcourue par l'avion à chaque point j'ai pu faire une correspondance avec la position des points et leur distance sur la courbe.

La vitesse et la distance étant liées, il me semblait pertinent de les déclarer dans une structure que j'ai ensuite placée dans un dictionnaire en tant que valeur dont la clé est le nom des points de l'approche.

J'ai repris une partie de mon ancien code de ma tentative de créer un système de trajectoire pour adapter le script de Téo au dictionnaire contenant les distances et les vitesses. Pour que l'interpolation fonctionne il faut les valeurs du dictionnaire. La distance permet de savoir quand changer de vitesse et à la différence de mon ancien code où j'interpolais la position, ici c'est la vitesse qui est interpolée, l'avion peut déjà se déplacer grâce au travail de Téo.

Les dictionnaires ne sont pas parcourables par une boucle, j'ai donc créé une liste de type string qui stocke les clés des dictionnaires qui sont aussi des string puisqu'il s'agit des noms des points.

J'utilise donc une boucle pour parcourir cette liste et affecter à deux variables le nom du point actuel et le nom du point suivant. Ces deux variables qui sont à présent des clés du dictionnaire servent à retrouver la valeur c'est-à-dire la distance et la vitesse qui me permettent de faire fonctionner l'interpolation de vitesse.

L'inclinaison de l'avion dans les virages est un autre élément important de l'approche à mettre en place. Le package de la courbe permet de gérer l'orientation des objets sur celle-ci sous forme de normale. Il était difficile de donner un angle précis à l'avion tout en faisant en sorte que ce soit cohérent avec le virage mais cela a tout de même permis d'obtenir un résultat correct.



normales de la trajectoire représentant l'inclinaison de l'avion

[vidéo de l'approche de Calvi dans Unity](#)

Synthèse

	Avantages	Inconvénients
Création d'environnement	- positions des éléments modulables	- demandant en ressource et en temps
Intégration dans un simulateur de vol	- environnement déjà créé - contrôles déjà développés	- implémentation complexe
Intégration de vidéo dans Unity	- intégration simple	- qualité vidéo médiocre bien que améliorable - pas de possibilités d'interaction
Géo spatialisation	- rendu réaliste - réutilisable pour différentes approches	- connexion à Internet obligatoire avec un débit minimum stable - dépendant de Cesium

L'exploration de ces différentes solutions a permis d'étudier leur faisabilité et d'en extraire les plus et les moins.

Créer soi-même l'environnement demanderait beaucoup de ressources et de temps pour en venir à bout avec un résultat pas forcément à la hauteur du projet et de ses besoins. Cette idée fût rejetée mais malgré cela, elle m'a amené à en apprendre un peu plus sur Unity ce qui m'a servi pour la suite du projet.

L'intégration de l'application dans un simulateur de vol a été envisagée mais mise de côté durant les recherches.

L'utilisation d'une vidéo comme support d'environnement constituait une idée intéressante bien qu'elle comporte des défauts de qualités qui pourraient être corrigés.

La solution de la géo spatialisation est dans sa globalité la plus intéressante grâce au réalisme apporté qui est en adéquation avec l'idée de simulation pour former et entraîner les pilotes ainsi qu'à la réutilisabilité de CESIUM pour de futurs approches.

Cette dernière a été retenue pour le développement du reste du projet.

X-R Solutions a par la suite fait appel à BLACKSHARK.AI, une société qui propose des services en lien avec la géo spatialisation et notamment avec la modélisation d'aéroport, pour recréer l'aéroport de Calvi en très haute qualité. Cette même société a également collaboré avec MICROSOFT pour la modélisation de l'environnement humain (principalement les bâtiments) de MICROSOFT FLIGHT SIMULATOR à partir d'analyse par IA de données de carte et de photogrammétrie ce qui est très proche de ce que permet CESIUM.

Autant pour MFS que pour X-R Solutions, l'utilisation de données provenant du monde réel se montre pertinente pour la création d'environnement virtuel notamment quand il s'agit d'environnement existant. Bien que cela paraisse évident, la mise en pratique nécessite de créer ces données, de les stocker sur des serveurs et qu'elles soient par la suite streamées. Tout cela est possible grâce à l'évolution des technologies qui influencent en partie la faisabilité des projets.

Conclusion

Je m'estime évidemment chanceux mais surtout reconnaissant d'avoir travaillé à X-R Solutions. J'ai pu mettre en pratique mes compétences et connaissances acquises durant cette troisième année de BUT MMI dans le milieu de l'aviation aussi étonnant, dans le bon sens du terme, que cela puisse paraître. C'est un univers beaucoup plus intéressant que je ne pouvais l'imaginer dans lequel j'ai été immergé durant ces 12 semaines.

Le projet de création d'environnement et de développement d'approche m'a amené à me challenger sur Unity et m'a fait découvrir X-Plane. À ce moment-là je me suis plus intéressé à l'aviation, j'ai dû me plonger dedans pour mieux comprendre le fonctionnement des approches.

Pour le travail en autonomie, j'avais des doutes avant que le stage ne commence mais l'équilibre entre les échanges et les missions en elle-même m'a permis d'avancer sans que je me sente délaissé ou seul.

J'ai aussi un peu plus appris professionnellement sur la gestion de projet, savoir où est-ce que j'en suis, dans quelle direction va le projet, quelles sont les possibilités d'exploration de solutions. Aller le plus loin possible dans une idée pour saisir ce qui en ressort m'a aussi aidé à progresser dans les missions et m'aidera sans doute dans de futurs projets qu'ils soient personnels ou professionnels.

Annexes

[veille de modèles 3D de pilotes de ligne](#)

[veille sur la modélisation des bras de l'utilisateur en VR](#)

[animation d'avatar avec Mixamo \(bras et tête\)](#) (vidéo)

[animation d'avatar avec Mixamo \(clignement d'yeux\)](#) (vidéo)

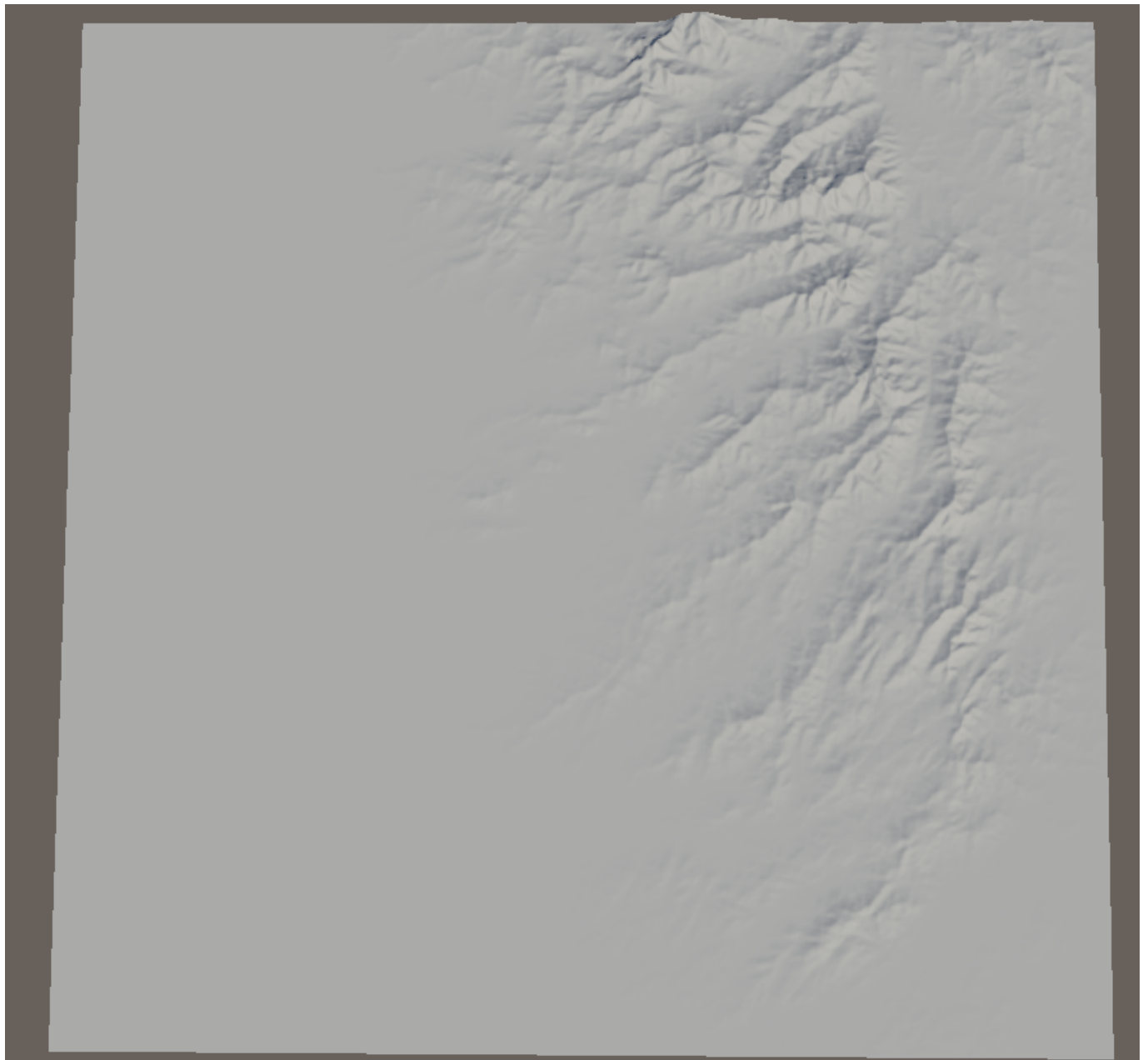
modification de la modélisation des avatars

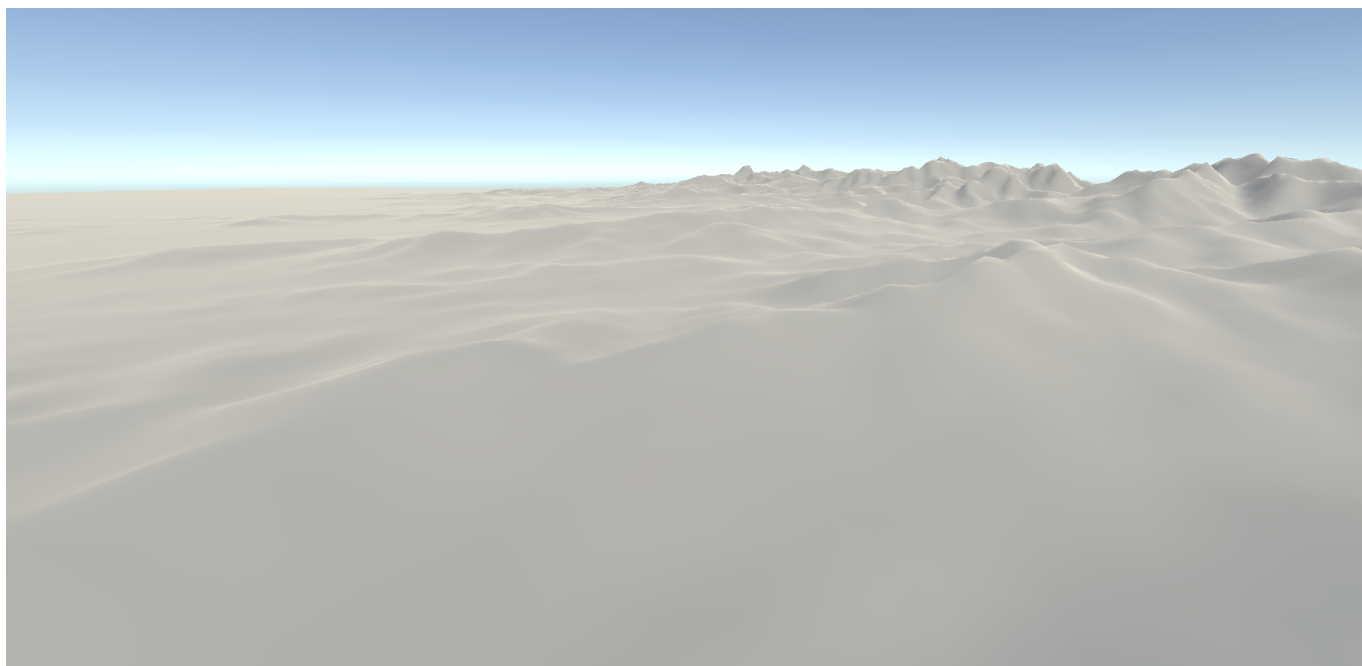
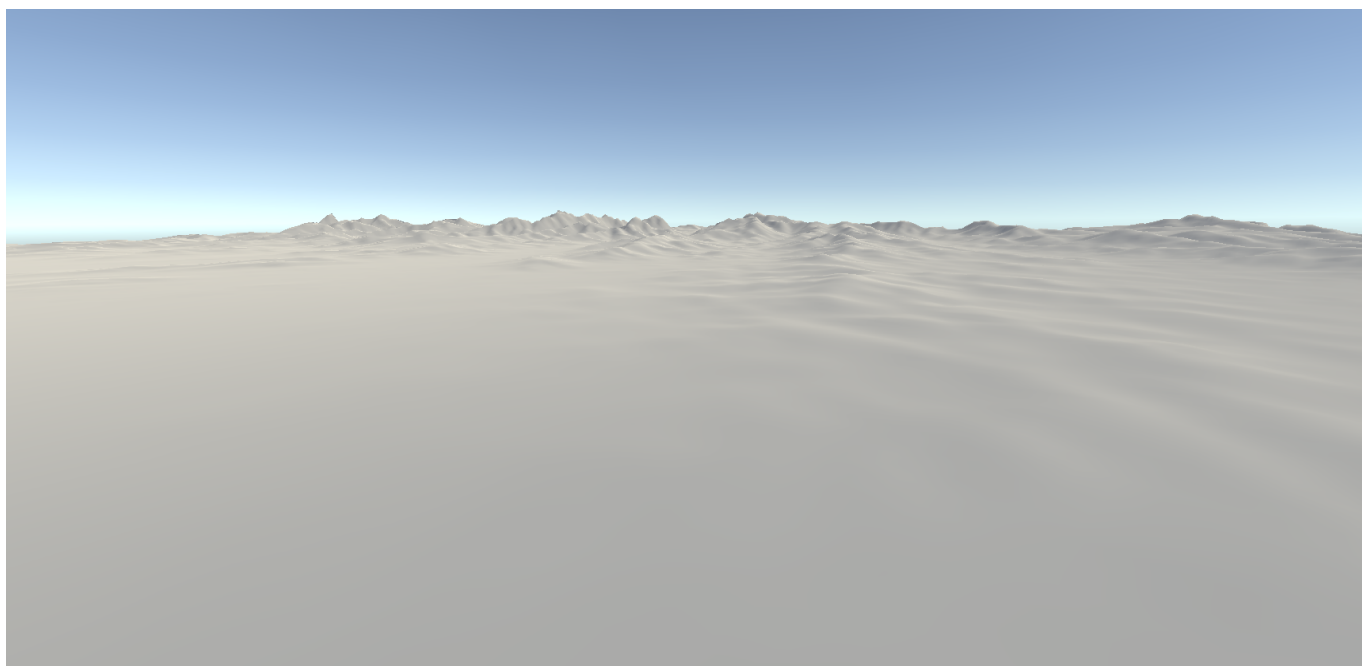


[map des avatars existants](#)

[intégration de voix + synchro labiale](#) (vidéo)

heightmap





[veille de modèles 3D d'aéroports](#)

[développement système de trajectoire](#) (vidéo)

[map des simulateur de vol](#)

[intégration dans Unity d'une vidéo d'X-Plane](#) (vidéo)

[illegible]

Visual 36

ATIS	131.180
TWR	123.200
GND	121.705

Procédure Spécifique

Aide RNAV au circling QFU 36

MSA
25-LFKC
111

TRL ATC
TA 5000

Le terrain naturel en amont du seuil de piste est en pente descendante de 2.0%. Il faut avoir la sensation d'etre bas pour etre dans un plan de 3.5°.

Données des points de l'approche de Calvi

STAR - LFKC - VUE36 Custom										Calvi / St Catherine				Mag Var : 02.7° E (Apt)			
Via	Seq	Pt	Fix	Typ	F/D	TD	Mag	Crs	Alt 1	Alt 2	Vert Angle	RNP	Speed Limit	Distance Time	Rec Navaid	Cycle : 2407	Updte
RW36	10	IF	CLI70													R Com Rt	2107
RW36	20	TF	CLI42				177°					0,3		2,8 Nm		R Com Rt	2107
RW36	30	TF	CLIO2				177,1°		1800			0,3		2,2 Nm		R Com Rt	2107
RW36	40	TF	DW36				213,7°		1800			0,3		2,1 Nm		R Com Rt	2107
RW36	45	TF	POIND				177,1°		1800			0,3		0,9 Nm		R Com Rt	2107
RW36	50	TF	CARER				177°		1500			0,3		1,5 Nm		R Com Rt	2107

CLI70

2.9°E

Latitude

Longitude

Format

N42391747

C

E008473260

Arinc 424

N 42° 39' 17.47"

E 8° 47' 32.60"

Deg Min Sec

42.6548527777778

8.7923888888889

Deg decimal

N42.39.3

E008.47.5

Deg Min.1/10 min

Alt / MagVar calculation

CLI42

2.9°E

Latitude

Longitude

Format

N42362942

C

E008473340

Arinc 424

N 42° 36' 29.42"

E 8° 47' 33.40"

Deg Min Sec

42.6081722222222

8.7926111111111

Deg decimal

N42.36.5

E008.47.6

Deg Min.1/10 min

CLIO2

2.9°E

Latitude

Longitude

Format

N42341738

C

E008473402

Arinc 424

N 42° 34' 17.38"

E 8° 47' 34.02"

Deg Min Sec

42.5714944444444

8.7927833333333

Deg decimal

N42.34.3

E008.47.6

Deg Min.1/10 min

Alt / MagVar calculation

DW36

1.8°E

Latitude

Longitude

Format

N42323675

C

E008455340

Arinc 424

N 42° 32' 36.75"

E 8° 45' 53.40"

Deg Min Sec

42.5435416666667

8.7648333333333

Deg decimal

N42.32.6

E008.45.9

Deg Min.1/10 min

POIND

1.8°E

Latitude

Longitude

Format

N42314273

C

E008455365

Arinc 424

N 42° 31' 42.73"

E 8° 45' 53.65"

Deg Min Sec

42.5285361111111

8.7649027777778

Deg decimal

N42.31.7

E008.45.9

Deg Min.1/10 min

Alt / MagVar calculation

CARER

1.8°E

Latitude

Longitude

Format

N42301270

C

E008455408

Arinc 424

N 42° 30' 12.70"

E 8° 45' 54.08"

Deg Min Sec

42.5035277777778

8.7650222222222

Deg decimal

N42.30.2

E008.45.9

Deg Min.1/10 min

Approach - LFKC - R36 Custom										Calvi / St Catherine				Mag Var : 02.7° E (Apt)			
Via	Seq	Pt	Fix	Typ	F/D	TD	Mag	Crs	Alt 1	Alt 2	Vert Angle	RNP	Speed Limit	Distance Time	Rec Navaid	Cycle : 2407	Updte
	10	IF	FF36	FAF				+	800								2102
	20	TF	RW36	MaPt	FD		357,1°		250		-3,50°	0,3		1,5 Nm			2102
	30	CA		Go.Arr			357°	+	610			1					2102
	40	CF	CALNO				301°		3000			1		28 Nm	BTA		2403

FF36 1°E Latitude Longitude Format N42294974 C E008473528 Arinc 424 N 42° 29' 49.74" E 8° 47' 35.28" Deg Min Sec 42.49715 8.7931333333333 Deg decimal N42.29.8 E008.47.6 Deg Min.1/10 min Alt / MagVar calculation	RW36 Latitude Longitude Format N42311977 C E008473487 Arinc 424 N 42° 31' 19.77" E 8° 47' 34.87" Deg Min Sec 42.5221583333333 8.7930194444444 Deg decimal N42.31.3 E008.47.6 Deg Min.1/10 min
---	---

Approche CALVI

Point	Coordonnées Lat	Coordonnées Long	Cap Mag Post WPT	Alt en ft	Alt réelle en m
CLI70	N42.39.3	E008.47.5	177	1800	487,68
CLI42	N42.36.5	E008.47.6	177	1800	487,68
CLIO2	N42.34.3	E008.47.7	214	1800	487,68
DW36	N42.32.6	E009.45.9	177	1800	487,68
PoinD	N42.31.7	E009.45.9	177	1800	487,68
CARER	N42.30.2	E009.45.10	177	1500	396,24
30° descente vers 800				CIBLE 800ft	
FF36	N42.29.8	E008.47.6	360	800	182,88
RW36 (seuil de piste)	N42.31.6	E008.47.7	360	250	15,24

	Altitude (m)	Vitesse (m/s)
CLF70	487	90
CLF42	487	90
CLF02	487	90
DW36	487	80
Light D	396	80
CANEX		
↓ virage 30° inclinaison à gauche		
FF36 (Sortie de virage)	183	65
RW36 (Seuil de piste)	15	65
↓		
Atterrissage sur les 2 rectangles blancs	0	65
Autres rectangles blancs	0	0

[Approche de Calvi dans Unity \(Cesium\) \(vidéo\)](#)

[package Unity utilisé pour la création de la trajectoire](#)
[GitHub du package](#)

[intégration de vidéos dans le tableau de bord du cockpit \(vidéo\)](#)
[création d'un "label" pour indiquer des informations dans Unity \(vidéo\)](#)

[playlist youtube des vidéos des missions du stage](#)

Sources :

- [YouTube](#) How Microsoft Flight Simulator Recreated Our Entire Planet | Noclip Documentary
- Mémoire de fin d'étude de Gilles Bié, Gilles m'a fait part de son mémoire d'HEC pour les informations concernant l'entreprise et sa création