



Projet P2E29

(expleo)

Développement d'un modèle 3D d'un environnement industriel

Groupe P2E :

BENADDI Ayoub
FERTAT Hatim
KOUTIT Abdellah
MEHL Sami
ROCH Antoine
ZHANG Xin

Encadrant :

M. LE NEEL Tugdual
Entreprise :
EXPLEO GROUP
Correspondant :
M. MESKI Oussama

12 juin 2022

Table des matières

1 PRESENTATION DU PROJET DANS SON CONTEXTE	2
1.1 L'Entreprise	2
1.2 Le contexte et les contraintes	2
1.3 Le Projet	2
2 DEMARCHE	4
3 RESULTATS OBTENUS	9
3.1 Modèles 3D	9
3.2 Textures	10
3.3 Environnement final	13
3.4 Difficulté de la réalisation, comparaison théorique/réel	15
4 CONCLUSION	16
5 TABLE DES ILLUSTRATIONS	17

1 PRESENTATION DU PROJET DANS SON CONTEXTE

1.1 *L'Entreprise*

Expleo est un prestataire de services global en ingénierie, technologie et conseil. Elle est implantée dans des secteurs variés tels que l'aéronautique, l'assurance, l'énergie, la défense ou le transport. Elle accompagne les entreprises dans leurs projets de transformation pour relever les défis du monde d'aujourd'hui et de demain, en leur permettant par exemple d'effectuer leur migration vers le numérique ou bien d'introduire des outils du big data pour améliorer les processus de production. Expleo est donc une entreprise dont les domaines d'applications sont très variés, et qui peut résoudre un grand nombre de problématiques pour toute industrie lourde.

1.2 *Le contexte et les contraintes*

Le projet, intitulé "développement d'un modèle 3D d'un environnement industriel" s'inscrit dans un objectif de limiter et prévenir les accidents dans le lieu du travail. Il s'agit de s'informer à partir de la documentation déjà établie par l'entreprise sur les accidents de travail selon le secteur. Ensuite il faut, en justifiant les directions prises, choisir le type d'accident à modéliser en le mettant dans un contexte bien défini afin d'établir un modèle 2D, puis 3D qui sera une transcription de ce scénario dans un environnement réaliste.

1.3 *Le Projet*

Ce projet s'inscrit dans un ensemble de projets de recherche et de réalisations en réalité virtuelle plus grands. Il suit notamment un projet de Expleo modélisant les accidents de travail au sein d'un hangar liés à la collision entre les chariots élévateurs et le personnel. L'objectif de ces modélisations est d'étudier les réactions des personnes testées, c'est le coeur même du projet CIPS de l'entreprise "Connected Individual Protection System". Ces réactions peuvent être, par exemple, le mouvement des pupilles ou les pulsations cardiaques du sujet, mais également la forme de la bouche. Ces données permettent, à l'aide d'algorithmes de machine learning, de détecter les émotions de la personne testée. En réalisant de nombreux tests sur des personnes variées, des profils de réaction face au stress lié au risque d'accident peuvent être créés, afin de mieux prévoir les réactions des individus connaissant leur profil. Une fois ces profils créés, Expleo compte utiliser son savoir-faire afin d'innover dans l'équipement

de sécurité en créant une nouvelle gamme de matériel de protection connecté et adapté à chaque utilisateur, permettant de rendre les équipements de sécurité plus sûrs et moins contraignants pour les utilisateurs.

2 DEMARCHE

Afin de réaliser ce projet, on s'est fiés aux étapes présentes sur le sujet de présentation du projet, qui nous ont été confirmées par l'accompagnateur. Ces étapes sont, telles que mentionnées :

- Prise en main des développements réalisés et état de l'art sur les domaines les plus exposés aux accidents de travail.
- Étude comparative et choix d'un scénario précis.
- Modélisation 3D d'un environnement industriel : Conception de la scène industrielle.
- Conception et désign du site, modélisation du site, Texturing.

Il s'agit de trouver un scénario autre que celui déjà en phase de test par l'entreprise qui concerne la collision de chariots élévateurs dans un entrepôt du secteur automobile. Après nous être renseignés sur la documentation, notamment l'étude statistique sur les accidents au travail, on a pu soulever des détails qui nous ont orientés vers le choix du secteur.

D'après *www.seton.fr*, deux types de cause sont à distinguer lorsqu'un accident survient :

- Les facteurs internes : un mouvement du corps
- Les facteurs externes : la manipulation d'un objet

De plus, les catégories d'âge les plus touchées sont les 40-49 ans, ainsi que les 50-59 ans, qui représentent 41.8 % des accidents.

Il était important pour le cadre du projet CIPS de trouver une situation à modéliser qui ne relève pas que de facteurs internes car elle serait beaucoup plus difficile à simuler auprès d'utilisateurs différents. Le rapport interne de la figure 1 ordonne les accidents de travail par catégorie et selon leur importance.

L'ensemble de causes que nous avons décidé d'approcher est celui des glissades, trébuchements et chutes. Il s'agit d'un domaine assez important, puisqu'il représente 17.6 % des accidents en 2011. Ainsi, essayer de comprendre et limiter ces accidents ne serait que bénéfique à un plus grand nombre de personnes.

Les causes de chutes étant encore bien trop nombreuses, il nous fallait encore des détails pour que le scénario soit plus précis, pour avoir une idée claire de quels éléments seraient présents dans la modélisation en 3D.

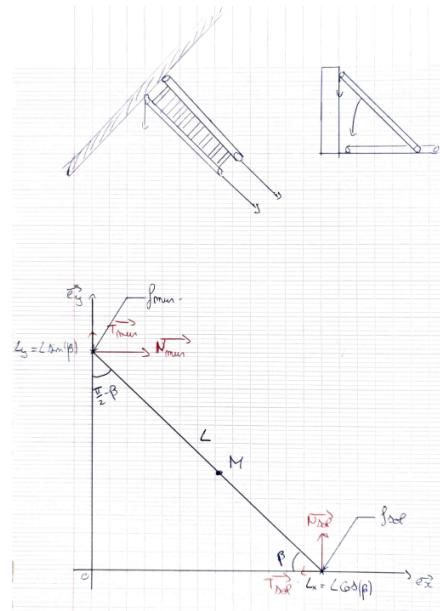
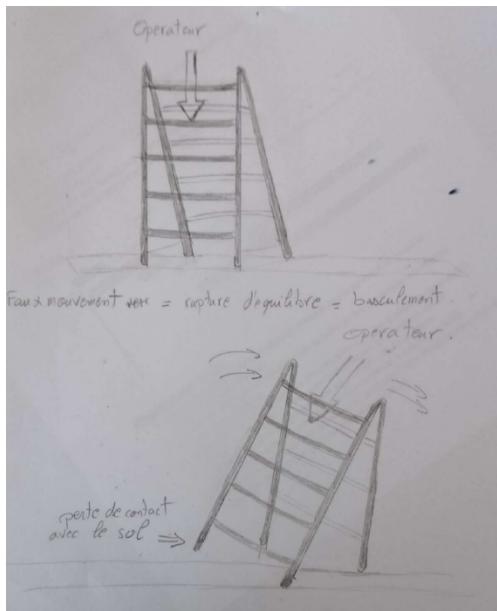
Nous avons réfléchi en groupe et nous avons décidé de nous concentrer sur les chutes d'échelle. Nous avons pensé qu'il s'agissait de l'une des causes de chute desquelles l'on pouvait se prémunir à l'aide de matériel individuel,

	Cause	Cas en 2011	%
1	Perte de contrôle d'une machine, d'un moyen de transport, d'un objet ou d'un animal	32.481	22%
2	Mauvais mouvements corporels	26.970	18,2%
3	Glissade, trébuchement et chute	26.083	17,6%
4	Soulever, pousser ou déposer une charge	19.412	13,1%
5	Quelque chose qui casse, tombe ou s'effondre	17.923	12,1%
6	Un produit qui se déverse (fuite, écoulement, évaporation ...)	8.067	5,5%
7	D'autres événements inhabituels	6.799	4,6%
8	Violence, agression, surprise et peur	4.749	3,2%
9	Cause inconnue	4.460	3%
10	Panne d'électricité, explosion ou incendie	910	0,6%
	Total	147.854	100%

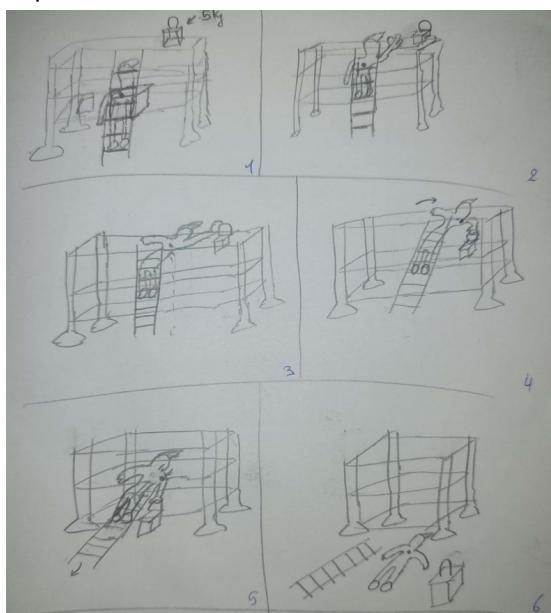
FIGURE 1 – Les causes principales des accidents au travail

Source : projet CIPS

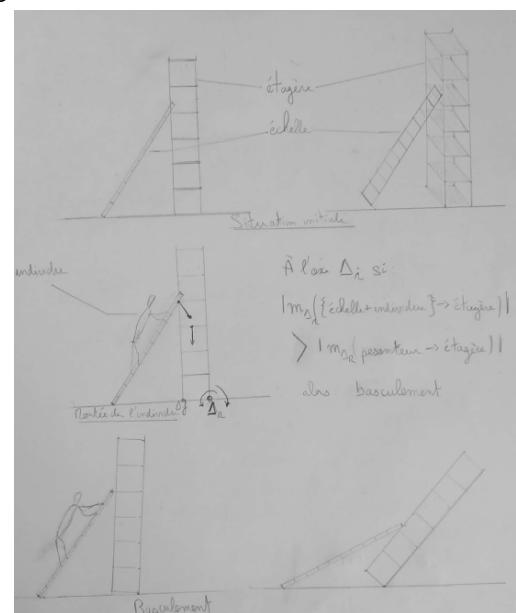
contrairement à une chute dans le vide ou bien depuis un échafaudage. Nous avons établi une liste de causes de chute d'échelle sans aucune contrainte, que nous avons modélisé comme illustré sur la figure 2. On a sélectionné parmi ces scénarios les cinq qu'on a jugé les plus pertinents et tenté d'en faire des croquis accompagnés de la physique derrière pour expliquer le mouvement entraînant la chute.



(a) Basculement latéral d'une échelle double (b) Glissement progressif d'une échelle en longueur depuis le sol



(c) Déséquilibre par poids latéral depuis le haut



(d) Chute par soutien trop léger

FIGURE 2 – Modélisation physique de causes de chute d'une échelle

Cependant, après avoir consulté l'accompagnateur de l'entreprise M. Meski, nous devions réfléchir davantage aux éléments autour de la chute qui constituent le réalisme de l'environnement tout autant que le déroulement de la chute en elle-même, et n'en avoir qu'un seul pour privilégier la qualité plutôt que la quantité. De plus, travailler sur un seul et même environnement serait plus fructueux pour l'adaptation du projet CIPS à d'autres situations vu que réfléchir les détails de réalisme seraient des invariants par rapport à la façon dont l'utilisateur tombe.

Grâce à une section d'un dossier de 2021 du projet CIPS, nous avons décidé de nous intéresser à la combinaison des accidents parmi les plus fréquents et les plus dangereux (figure ??).

Dans le dossier du projet CIPS, dans la section dédiée aux statistiques, on remarque une reprise de données de 2018 de l'Assurance Maladie qui indique que 71 jours de travail sont perdus à cause des accidents de travail. Plus particulièrement, le secteur du BTP représente 14% de l'ensemble des accidents du travail et parmi ceux-ci, 16% conduisent à une incapacité permanente et 19% à des accidents mortels. Les chutes de hauteur et de plain-pied représentent environ 30% des accidents du BTP.

Il s'agit alors de trouver une situation à modéliser qui combine les chutes et dont souffrent les travailleurs dans le secteur du BTP.

On a alors décidé de modéliser une chute d'échelle d'un couvreur dont le rôle est de poser des tuiles sur une maison en fin de construction. C'est un cas où l'inattention peut causer une chute de l'échelle quand il s'apprête à monter vers le poste de travail ou d'en descendre.

La description détaillée du scénario général modélisée est la suivante :

L'utilisateur se trouve sur le passage piéton à côté d'une maison en construction quasi-finie avec des liteaux déjà disposés sur le toit et quelques tuiles déjà posées. Une journée avec un soleil éblouissant sans la moindre trace de nuages. Quelques maisons dont certaines en construction aussi sont dans l'arrière-plan. Il avance sur le bord de la route jusqu'à remarquer une échelle posée contre le toit avec un angle d'environ 75° avec le sol. L'objectif est de monter récupérer une truelle lisseuse restée sur le toit et de la remettre dans la boîte à outils posée au sol, qui auparavant doit être déblayée parmi de nombreux objets. Une fois qu'il est monté sur l'échelle, il doit effectuer la tâche de récupérer la truelle lisseuse en la déblayant (de nombreux petits objets sont disséminés à côté). La tâche doit durer plusieurs minutes. Enfin, lors de la redescense, une tuile tombe sur le côté dans son champ de vision pour le distraire et potentiellement lui faire perdre son équilibre, puis si la chute n'est pas survenue, une sonnerie de téléphone peut retentir, toujours dans le but de provoquer la perte d'attention puis la chute.

L'objectif des tâches répétitives ainsi que des évènements censés déconcentrer

l'utilisateur est double. D'une part, son immersion dans la simulation sera plus grande, et ce faisant, il sera plus apte à chuter. L'avantage d'un tel scénario est qu'il peut être décliné de diverses façons. On peut en effet imaginer que la source de distraction change, ou bien que la cause de la chute de l'échelle diffère. Par exemple, un scénario pluvieux où l'échelle glisserait, ou un autre dans lequel quelqu'un taperait par inadvertance dans l'échelle. Pour améliorer l'immersion de la simulation, M. Meski nous a parlé d'un plan incliné sur lequel la personne monterait. En effet, la gravité n'étant pas simulable, le plan incliné peut être une bonne solution pour la simuler. De plus, cela permettrait de simuler l'équilibre et rendre une main de l'utilisateur indisponible, puisqu'il devrait se tenir.

Après avoir consulté M. Meski pour lui faire part de ce scénario et avoir obtenu son accord, il était temps de commencer à s'intéresser aux logiciels de modélisation 3D. On a consulté M. Sébastien Duchossoy, un employé de Expleo et notre référence pour la réalité virtuelle ainsi que M. Maxime Heguy, stagiaire chez Expleo.

Étant donné l'existence de plusieurs logiciels 3D, chacun est spécialisé dans une tâche particulière : 3D Studio Max pour la conception d'objets en 3D, Substance Painter pour les textures, c'est-à-dire l'habillage visuel des objets, et Unity qui permet de mettre en scène les objets. Même s'il existe d'autres variantes pour certains de ces logiciels, nous avons travaillé avec ceux-ci car ce sont les plus utilisés par l'équipe de réalité virtuelle.

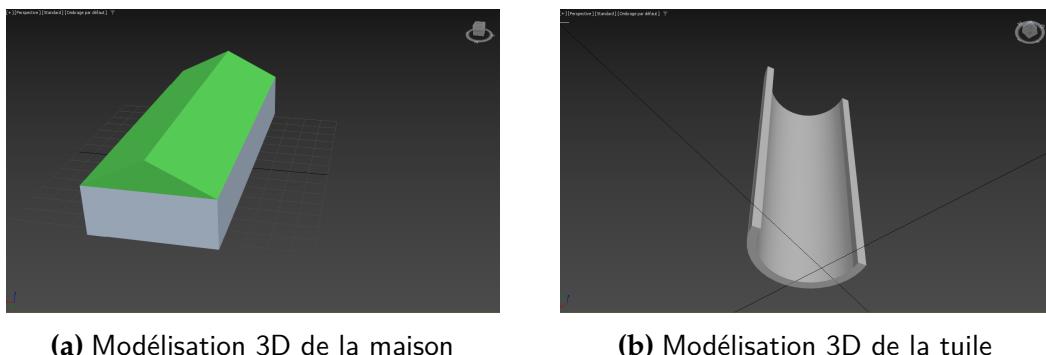
Un grand avantage commun à tous ces logiciels était la richesse de la documentation en ligne, de la contribution de la communauté active et de tutoriels gratuits pour la réalisation de tâches simples. Un autre atout était le "Asset Store" de Unity, un magasin en ligne où les utilisateurs pouvaient vendre leurs créations, dont certaines gratuites et libres de droit qu'on a pu modifier à notre goût et à nos besoins sur 3DSMax.

Nous nous sommes appuyés sur les tutoriels disponibles sur youtube mais aussi sur l'introduction aux logiciels faite par M. Heguy.

3 RESULTATS OBTENUS

3.1 Modèles 3D

Nous avons initialement choisi de modéliser la maison et la tuile, puis de récupérer un modèle d'échelle en ligne, car il s'agissait d'une forme plus complexe qui, de plus, existait déjà dans de nombreux modèles. La prise en main de 3ds Max a été plutôt rapide, le logiciel étant assez intuitif. Nous avons établi comme règle de fournir un fichier de documentation du logiciel entre nous, afin de transmettre la connaissance au groupe lorsque nous trouvions une nouvelle fonctionnalité. Nous avons donc obtenus les deux modèles 3D de la figure 3 :



(a) Modélisation 3D de la maison

(b) Modélisation 3D de la tuile

FIGURE 3 – Modèles 3D créés sous 3DS MAX

*

La forme de la maison étant assez simple, la question de la densité du maillage ne s'est pas posée. En effet, une face rectangulaire n'est composée que de deux triangles, ce qui réduit énormément les calculs. En revanche, nous avons dû augmenter la densité du maillage pour la tuile afin d'obtenir une forme véritablement arrondie, au détriment de la fluidité du modèle.

Le choix maillage constitue un point essentiel lors de la modélisation, car il peut faire que le rendu très peu fluide s'il est trop complexe (du "lag"). Il existe des techniques pour adapter le maillage aux besoins de la simulation, par exemple un objet lointain aura un maillage peu dense, puis en se rapprochant, il sera remplacé par le même objet au maillage plus dense. Il n'y a pas véritablement de critère pour un bon maillage, le choix se fait de la sorte : on réduit le maillage jusqu'à perdre la forme souhaitée (ou qu'elle soit trop déformée). Si jamais cela ne suffit pas, il faut alors réduire encore le maillage, quitte à se rattraper sur les textures (mais cela nécessite énormément de temps supplémentaire, ainsi que des graphistes). Nous obtenons le maillage de la figure 4 :

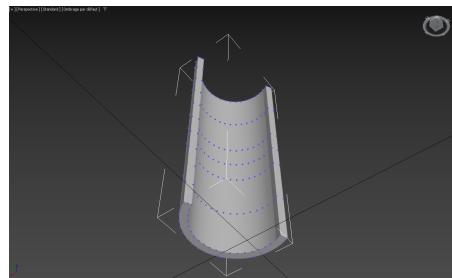


FIGURE 4 – Maillage de la tuile 3D

3.2 *Textures*

Nous avons décidé de créer les textures des tuiles, mais de réutiliser les textures de maisons proposées car elles étaient véritablement abouties en comparaison avec ce que nous aurions pu faire. Pour ce faire, le stagiaire de l'entreprise, Maxime Heguy, nous a conseillé et présenté Substance Painter, un logiciel d'Adobe, disponible via une licence étudiante. Nous avons donc obtenu les résultats suivants pour les tuiles (figure 5) :



FIGURE 5 – Texture de la tuile 3D

Cette texture est assez simple, mais elle est largement suffisante pour la simulation, d'autant plus qu'elle nécessite peu de calculs, ce qui contrebalance le maillage dense. Nous avons également prospecté sur le marketplace de Unity

(Unity Asset Store), afin de trouver d'autres textures qui pourraient convenir, mais qui seraient payantes. Notre choix s'est porté sur le modèle de la figure 6 :



FIGURE 6 – Seconde texture de la tuile 3D

Nous avons également essayé, afin de prendre en main Substance Painter, de créer une texture pour la maison sans pour autant l'utiliser sur le modèle final. Il en est ressorti que l'assemblage des différents composants de la maison avait été mal fait, car la fusion des maillages n'avait pas été bien faite (les sommets étaient mal fusionnés). On obtient rapidement la texture de maison de la figure 7(vue de côté) :

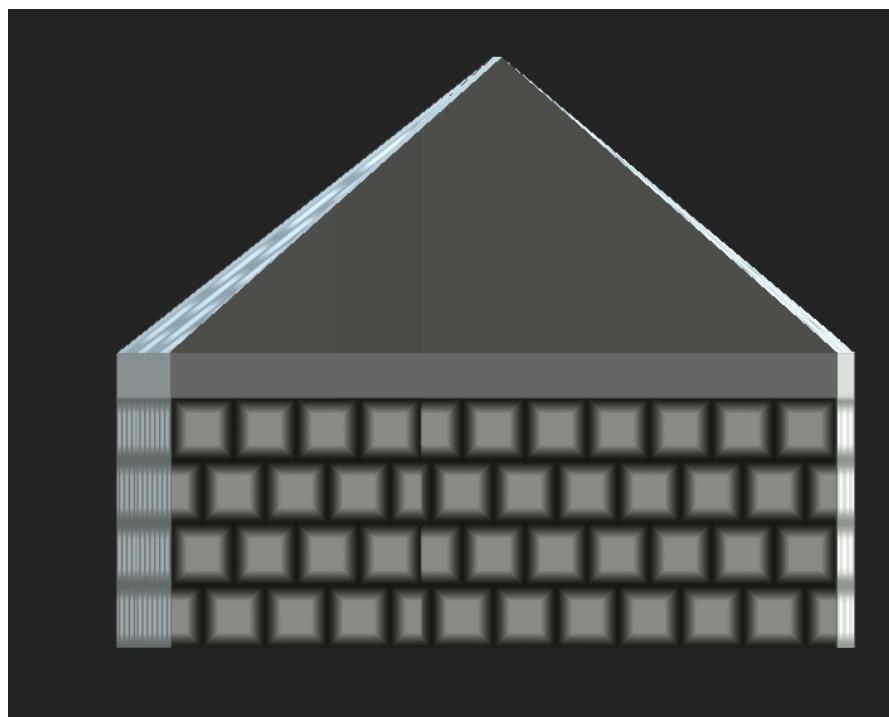


FIGURE 7 – Prise en main de Substance Painter : texture de la maison 3D

Le travail sur les textures est donc un processus assez long, qui nécessite

d'avoir quelques compétences graphiques si l'on désire obtenir un résultat réaliste, ou tout du moins graphiquement acceptable.

3.3 *Environnement final*

L’élévation du terrain se fait manuellement et localement mais Unity dispose d’outils de lissage pour rendre le terrain plus réaliste. Les arbres et l’herbe ont été importés via des modules disponibles gratuitement et libres de droit. Ils sont optimisés pour comporter un nombre suffisant de polygones pour être très réalistes dans leur mouvement. L’herbe n’est générée visuellement que quand on est assez proche (dans un rayon d’une centaine de mètres environ) pour ne pas surcharger l’ordinateur mais il est possible de désactiver cette fonctionnalité même si ce n’est pas pertinent dans une simulation de réalité virtuelle. Les routes ont été construites semi-automatiquement avec l’outil “Road Architect” qui dispose d’un grand nombre d’outils de personnalisation du système de routes. Il est assez frustrant à manipuler sur une surface qui n’est pas complètement plane vu qu’il faut manipuler chaque portion de route séparément et qu’elle déforme le sol autour d’elle.

Finalement la physique est simplifiée au maximum par Unity, mais il est quand même nécessaire d’écrire des scripts soi-même pour provoquer des changements spontanés tels que la chute d’un objet comme une tuile ou pour générer un son d’un certain point de l’espace.

La figure 8 illustre quelques résultats que nous avons obtenu sous Unity.

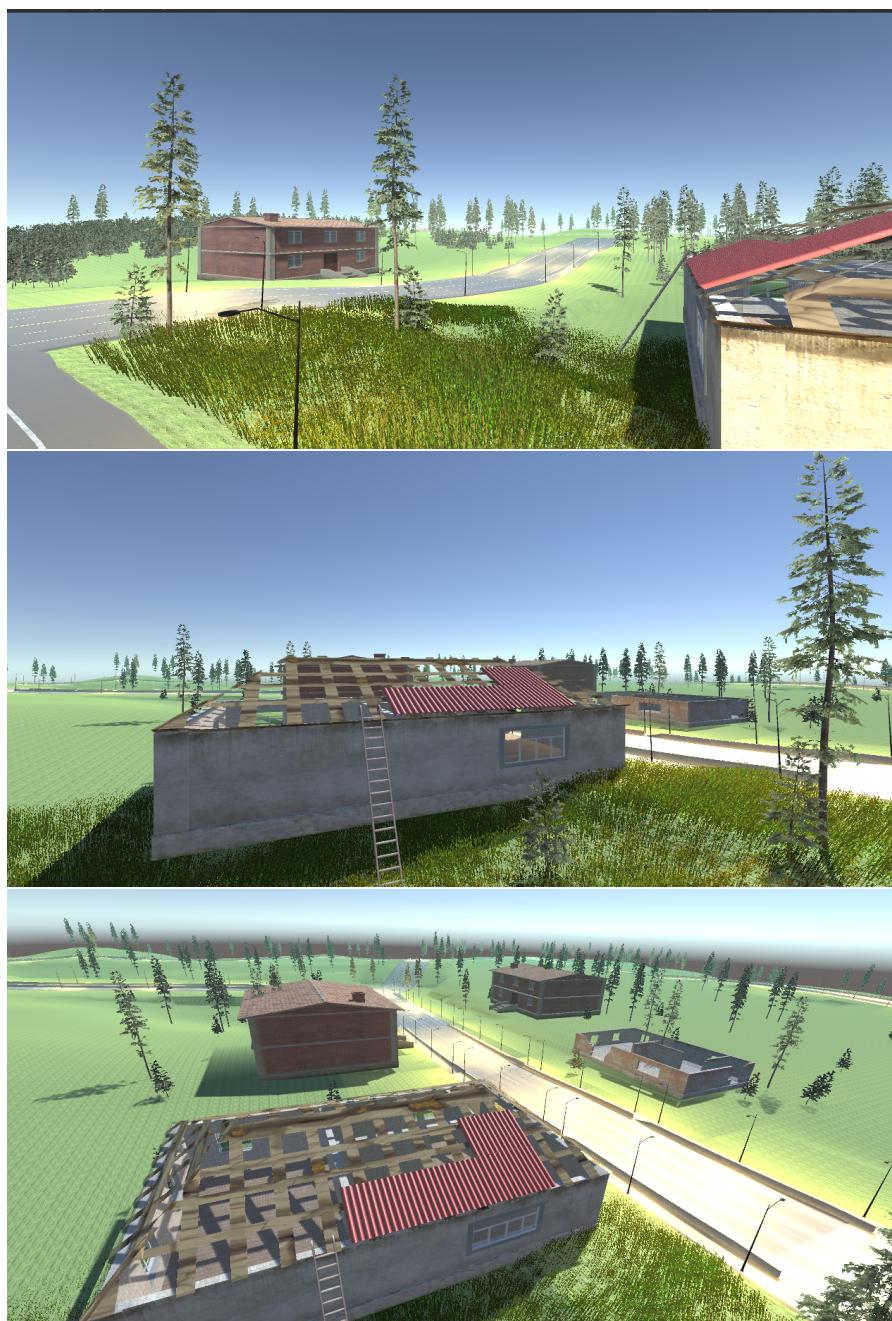


FIGURE 8 – Environnement 3D sous Unity

3.4 Difficulté de la réalisation, comparaison théorique/réel

L'environnement final est constitué de nombreux petits éléments qui, individuellement, ne nécessitent pas énormément de temps pour être réalisés. En revanche, il sont très nombreux, et le temps d'apprentissage auparavant est assez élevé. Voici un tableau (table 1) d'estimation de la durée passée par Hatim Fertat et Antoine Roch lors de la modélisation sous Unity, 3DS Max, Substance Painter :

Objet	Durée estimée
Tuile (3DS Max)	4
Maison (3DS Max)	3
Tutos (3DS Max)	15
Tuile (Substance Painter)	2
Maison (Substance Painter)	5
Tutos (Substance Painter)	18
Environnement (Unity)	30
Tutos (Unity)	25

TABLE 1 – Estimation de la durée passée sur chaque logiciel

4 CONCLUSION

L'objectif de ce projet était de trouver un scénario de risque industriel, de le modéliser en 2 dimensions et d'avancer au maximum sur l'élaboration d'un environnement de réalité virtuelle en vue de tests ultérieurs.

L'intérêt de la solution choisie est qu'elle pourra servir à plusieurs petites entreprises qui ne se limitent pas à la couverture de toits. Certes elles ne constitueront pas toutes un poids financier important à elles seules mais en touchant à un grand nombre d'entre elles comportent un risque dans leurs activités liées à un relâchement de l'attention des travailleurs qui peut coûter cher aux entreprises mais aussi à la vie des victimes des accidents du travail.

Le scénario et les modèles ont été détaillés dans de la documentation disponible pour l'entreprise, ainsi que des ressources issues de la modélisation 3D. Ainsi, l'entreprise disposera d'un environnement de départ pour la simulation, qu'elle pourra améliorer en fonction de ses besoins et/ou attentes. Un des objectifs du projet CIPS étant de pouvoir généraliser les environnements industriels plutôt que d'en concevoir un propre à chaque situation, une partie des situations de travaux de construction ou de rénovation peuvent être des sous-catégories de l'environnement déployé dans ce travail.

5 TABLE DES ILLUSTRATIONS

Table des figures

1	Les causes principales des accidents au travail <i>Source : projet CIPS</i>	5
2	Modélisation physique de causes de chute d'une échelle	6
3	Modèles 3D créés sous 3DS MAX	9
4	Maillage de la tuile 3D	10
5	Texture de la tuile 3D	10
6	Seconde texture de la tuile 3D	11
7	Prise en main de Substance Painter : texture de la maison 3D . . .	11
8	Environnement 3D sous Unity	14

Annexes

Tableau des liens des bibliothèques Unity utilisées :

Bibliothèque	Lien
grass flowers	https://assetstore.unity.com/packages/2d/textures-materials/nature/grass-flowers-pack-free-138810
abandoned buildings	https://assetstore.unity.com/packages/3d/environments/abandoned-buildings-62875
terrain sample asset	https://assetstore.unity.com/packages/3d/environments/landscapes/terrain-sample-asset-pack-145808
brick house	https://assetstore.unity.com/packages/3d/environments/landscapes/terrain-sample-asset-pack-145808
conifers	https://assetstore.unity.com/packages/3d/vegetation/trees/conifers-botd-142076
grass textures	https://assetstore.unity.com/packages/2d/textures-materials/floors/vis-pbr-grass-textures-198071
road architect	https://www.opensourceagenda.com/projects/fritzshero-roadarchitect
stylize wood texture	https://assetstore.unity.com/packages/2d/textures-materials/wood/stylized-wood-texture-153499



Diagramme de gantt initial

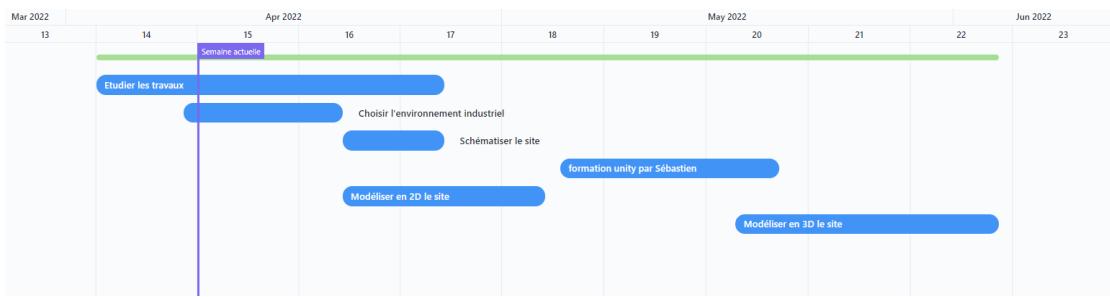


Diagramme de gantt final

Tableau des liens de recherche sur le BTP :

Sujet	Lien
Propotion d'accidents liés aux échelles	https://electricite-plus.com/2020/11/10/echelles-et-escabeaux-en-moyenne-849-chutes-indemnisables-par-annee/
Gravité des chutes d'échelle	https://www.inrs.fr/risques/chutes-hauteur/equipements-acces-hauteur.html
Importance dans la mortalité dans le BTP	https://www.travail-et-securite.fr/ts/dossier/792/chutes-hauteur/Des-chutes—ne-pas-prendre-de-haut.html
Image d'échelle	https://www.magazineb2b.com/reglementation-equipement-acces-hauteur.html

Développement d'un modèle 3D d'un environnement industriel

Entreprise : Expleo

Groupe P2E : BENADDI Ayoub FERTAT Hatim KOUTIT Abdellah MEHL Sami
ROCH Antoine ZHANG Xin

Objectif : Réaliser un environnement industriel 3D

Méthode : Étude des risques intéressants, modélisation 2D, puis la réalisation en 3D

Résultats obtenus : Étude réalisée, modèle 2D réalisé, environnement 3D débuté

Suite à donner : Introduire un joueur dans l'environnement

Mots-clés : Réalité virtuelle, 3D, risque, industrie, 3DS MAX, Substance Painter, Unity