



Diseño HMI en realidad aumentada

INRAE

DAHAN Clément

ESTIA 2023

03/04/2023 – 29/09/2023

Informe NO confidencial

Tutores en empresa : JAEGER Marc / LEMIERE Laetitia

ESTIA Tutor : BAGIEU Pascal
ETSIAE Tutor : GÓMEZ Fernando

Tema del trabajo realizado :

Informática

Agradecimientos

En primer lugar, quisiera agradecer a Laetitia Lemière y Marc Jaeger que me supervisaron durante esta misión de fin de estudios. Sus ayudas, consejos y amabilidad fueron ejemplares.

Además, quisiera agradecer a la UMR AMAP y especialmente a Gabriel Masson cuya simpatía me acompañó durante estos primeros meses de prácticas.

Resumen

Ce rapport de stage relate la réalisation de la mission de fin d'études intitulée : « Conception d'IHM en réalité augmentée » au sein de l'unité mixte de recherche AMAP. Cette mission a été réalisée du 3 avril 2023 au 29 septembre 2023, encadrée par Laetitia Lemièrre et Marc Jaeger.

Ce projet a été mené dans le cadre de la thèse de Laetitia Lemièrre, sur l'aide à la conception de parcelles en agroforesterie. Aujourd'hui, les outils numériques manquent pour aider les agriculteurs concevoir leur future parcelle en agroforesterie. Le but du travail a été de concevoir des interfaces d'un outil en réalité augmentée permettant de visualiser différents phénomènes sur la parcelle et d'obtenir un retour d'experts sur cet outil. J'ai donc rédigé des protocoles de tests et analysé ces données.

Mon travail était composé de plusieurs phases clés. Premièrement, j'ai préalablement réalisé un état de l'art sur la réalité augmentée et les interfaces. Deuxièmement, le présent rapport explique la phase de conception des interfaces, d'implémentation et de rédaction de protocole de tests. Troisièmement, j'ai réalisé des tests auprès d'utilisateurs et je détaille la phase d'analyse des résultats.

Cette mission de fin d'études a également été l'occasion de participer à des tables rondes et travaux sur l'agriculture et le numérique, ainsi que suivre des conférences sur le traitement d'image.

Este informe de prácticas relata la realización de la misión de fin de estudios titulada: "Diseño HMI en realidad aumentada" dentro de la unidad conjunta de investigación AMAP. Esta misión se llevó a cabo del 3 de abril de 2023 al 29 de septiembre de 2023, supervisada por Laetitia Lemièrre y Marc Jaeger. Este proyecto se llevó a cabo como parte de la tesis de Laetitia Lemièrre, sobre la ayuda al diseño de parcelas agroforestales. Hoy en día, faltan herramientas digitales para ayudar a los agricultores a diseñar su futura parcela agroforestal. El objetivo del trabajo fue diseñar interfaces de una herramienta de realidad aumentada que permita visualizar diferentes fenómenos en la parcela y obtener comentarios de expertos sobre esta herramienta. Entonces escribí protocolos de prueba y analicé estos datos. Mi trabajo constaba de varias fases clave. En primer lugar, previamente realicé un estado del arte sobre realidad aumentada e interfaces. En segundo lugar, este informe explica la fase de diseño, implementación y redacción del protocolo de prueba de la interfaz. En tercer lugar, realicé pruebas con usuarios y detallo la fase de análisis de los resultados. Esta misión de fin de estudios también fue una oportunidad para participar en mesas redondas y trabajos sobre agricultura y tecnología digital, así como asistir a conferencias sobre procesamiento de imágenes.

This internship report relates the completion of the end-of-study mission entitled: "HMI design in augmented reality" within the joint research unit AMAP. This mission was carried out from April 3, 2023 to September 29, 2023, supervised by Laetitia Lemièrre and Marc Jaeger.

This project was carried out as part of Laetitia Lemièrre's thesis, on helping to design agroforestry plots. Today, digital tools are lacking to help farmers design their future agroforestry plot. The purpose of the work was to design interfaces of an augmented reality tool allowing to visualize different phenomena on the plot and to obtain expert feedback on this tool. So I wrote test protocols and analyzed this data.

My work consisted of several key phases. First, I previously carried out a state of the art on augmented reality and interfaces. Secondly, this report explains the interface design, implementation and test protocol writing phase. Third, I carried out tests with users and I detail the analysis phase of the results.

This end-of-study mission was also an opportunity to participate in round tables and work on agriculture and digital technology, as well as attend conferences on image processing.

Preámbulo

Este trabajo recibió una ayuda estatal gestionada por la Agencia Nacional de Investigación en el marco del programa Inversiones Futuras con la referencia ANR16 CONV0004.

Ce travail a bénéficié d'une aide de l'État gérée par l'Agence Nationale de la Recherche au titre du programme d'Investissements d'Avenir portant la référence ANR-16-CONV-0004.

ÍNDICE

Introducción	8
Contexto.....	8
Presentación del contexto administrativo	9
Problemática	10
Misión	10
Estado del arte	11
Realidad aumentada conocida por el público en general	11
Realidad aumentada en el mobiliario de interior	12
Realidad aumentada en las aplicaciones de Google	14
La realidad aumentada en el mundo de la investigación.....	16
Técnicas de representación en videojuegos	21
Síntesis	23
Realización	23
Definición	23
Presentación de Unity	24
Presentación de Zotero	28
Presentación de Github	28
Pr esentación de Paint 3D	28
Modelización.....	29
Selección de visualizaciones	29
Descripción del protocolo de prueba	30
Análisis	33
Concepción de los visualizaciones	33
Diseño de interfaz.....	37
Integración.....	38
Desarrollo en Unity.....	38
Primeras pruebas.....	46
Segunda fase de desarrollo	46
Taller/Pruebas	52
Control	55
Análisis general.....	55
Clasificación de las visualizaciones	57
Comparación detallada de las preguntas del SUS.....	60
Análisis de las otras preguntas	63

Análisis de los comentarios	65
Resultados de analisis	71
Conferencias y talleres.....	71
Taller	72
DigitAg.....	72
Módulo de imagen	72
Vínculos con la aeronáutica	73
Simuladores de entrenamiento y vuelo	73
Mantenimiento y Reparaciones.....	73
Pantalla de navegación e información en vuelo	73
Conclusión.....	74
Dificultades encontradas y perspectivas de mejora	74
Aportes personales de la pasantía.....	74
Bibliografía	76
Índice de figuras	77
Anexos.....	80

Introducción

Contexto

Esta misión de fin de estudios se llevó a cabo como parte de una tesis multidisciplinaria dirigida por Laetitia Lemière, con el tema: realidad aumentada para facilitar el diseño de sistemas agroforestales.

Este proyecto se enfoca en el uso de la realidad aumentada para facilitar el diseño de sistemas agroforestales. La agro silvicultura es un enfoque agrícola que integra árboles con cultivos para mejorar la productividad y al mismo tiempo preservar el medio ambiente (ver Figura 1). Promueve la diversidad de especies vegetales y animales, fortaleciendo así la resiliencia del sistema agrícola. Este conjunto de prácticas reduce la erosión, mejora la calidad del agua, almacena carbono y crea hábitats para la vida silvestre. Por tanto, tiene beneficios medioambientales, sociales y económicos.



Figura 1 : Ejemplo de parcela agroforestal

Sin embargo, el diseño de parcelas agroforestales sigue siendo un desafío complejo que requiere herramientas adecuadas. La falta de parcelas ejemplares maduras, la dificultad de imaginar la parcela varias décadas después o la falta de conocimiento científico sobre el codesarrollo de las plantas, son un verdadero problema. Para los asesores agrícolas y los agricultores, es difícil entender los efectos, positivos o negativos, de los distintos elementos del sistema agroforestal. Para facilitar este diseño se han desarrollado prototipos de realidad aumentada. La realidad aumentada es una tecnología que añade elementos virtuales a nuestro entorno real. Permite utilizar un dispositivo como un teléfono inteligente o una tableta para superponer imágenes, información u objetos virtuales a lo que vemos en el mundo real (ver Figura 2).



Figura 2 : Ejemplo de uso de realidad aumentada

Los prototipos ya realizados permiten representar los elementos vegetales sobre un modelo del sistema agroforestal, para visualizar el crecimiento y la evolución de los futuros árboles.

El objetivo de esta pasantía es ir más allá en la visualización del sistema. Para hacer esto, fue necesario realizar un estado del arte sobre realidad aumentada, el que facilitó la redacción de un protocolo de prueba de interfaz. Se han diseñado y probado diferentes visualizaciones con expertos. Finalmente, una fase de análisis de los resultados concluyó esta misión.

Esta tesis detalla los diferentes aspectos de esta misión de fin de estudios. Primero veremos una presentación de la unidad de investigación donde trabajé, seguida de los detalles del problema que debía resolverse y las diversas misiones a las que me enfrenté. En un segundo paso, veremos los medios disponibles para alcanzar los diferentes objetivos, así como el desarrollo de estos. A continuación, discutiremos las actividades adicionales y la formación durante esta pasantía, así como los vínculos de este trabajo con la aeronáutica. Finalmente, terminaremos con una conclusión que volverá a las dificultades encontradas, las perspectivas y las contribuciones personales de esta pasantía.

Presentación del contexto administrativo

Esta misión de fin de estudios se llevó a cabo en la Unidad Común de Investigación AMAP, compuesta por investigadores del CIRAD, INRAE, IRD, CNRS y la Universidad de Montpellier. La propia AMAP está alojada en un campus del CIRAD.

AMAP está integrada por 48 investigadores, 10 estudiantes de posdoctorado, 24 técnicos e ingenieros y 1 profesor asociado.

La investigación de la unidad se centra en los siguientes 3 temas:

- Sistemática, biogeografía y ecología.
- Dinámica y producción de plantas y stands.
- Modelos, análisis y datos desde órganos hasta ecosistemas.

La UMR cuenta actualmente con 5 órganos de control (CIRAD, CNRS, INRAE, IRD, Universidad de Montpellier) (ver Figura 3).



Figura 3 : Diagrama que resume la supervisión de AMAP

CIRAD es una organización francesa creada en 1984, dedicada a la investigación agrícola y la cooperación internacional. Su especialización es el desarrollo sostenible de las regiones tropicales y mediterráneas. En colaboración con varios socios, la organización tiene como

objetivo crear conocimientos y soluciones para promover una agricultura resiliente en un mundo unido y sostenible. Para alcanzar estos objetivos, el CIRAD utiliza la ciencia, la innovación y la formación, poniendo así su experiencia al servicio de diversos actores, desde los productores hasta las políticas públicas.

Sus áreas de intervención incluyen la protección de la biodiversidad, las transiciones agroecológicas, la sostenibilidad de los sistemas alimentarios, la salud de las plantas, los animales y los ecosistemas, así como el desarrollo sostenible de los territorios rurales frente al cambio climático. El CIRAD desarrolla sus actividades en unos 50 países, repartidos por todos los continentes, y cuenta con alrededor de 1.650 empleados, entre ellos 1.140 científicos. Mantiene una estrecha colaboración con una red global de alrededor de 200 socios.

El Instituto Nacional de Investigación en Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (INRAE) fue creado el 1 de enero de 2020 mediante la fusión del Inra (Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias) y el Irstea (Institut Centro Nacional de Investigación en Ciencia y Tecnología para el Medio Ambiente y la Agricultura). INRAE es un organismo público de investigación francés cuya misión es producir conocimientos sobre las ciencias de la vida, el medio ambiente y la agricultura, y ponerlos a disposición de los actores de la sociedad civil, las empresas y las autoridades públicas.

Problemática

En la actualidad, un agricultor que desea adentrarse en la agroforestería debe diseñar su parcela y esta es una fase compleja, apoyada por un asesor agrícola. El agricultor presenta sus objetivos y limitaciones y el asesor sugiere varias combinaciones de plantas que pueden satisfacer sus necesidades. Las propuestas suelen estar representadas en un plano. La principal dificultad de este proceso es que el agricultor apenas puede imaginar las interacciones entre árboles y cultivos (competencia de raíces, nivel de agua del suelo, rendimiento, etc.) que influyen en el rendimiento del sistema y que varían según la edad de la parcela. Además, hay pocas parcelas de ejemplo que el agricultor podría visitar para ayudarlo a darse cuenta de los impactos de los árboles en el sistema agrícola. Es importante destacar que, en ocasiones, los datos científicos son incompletos en este contexto, lo que implica que los modelos que simulan las parcelas siempre tienen limitaciones. Esto complica aún más la tarea de representarlos.

Por eso, en la tesis de Laetitia Lemière se desarrolla un nuevo método de visualización de parcelas agroforestales basado en la realidad aumentada, que permite representar muchos elementos tridimensionales superpuestos al mundo real. Como parte de la tesis, se desarrollaron los primeros prototipos que pueden representar plantas, pero no se ha desarrollado ninguna visualización de las interacciones dentro del sistema. Esta pasantía tiene como objetivo proponer visualizaciones e interfaces para estos prototipos y verificar su interés mediante pruebas. Hay muchos desafíos que superar :

- Hacer visibles las interacciones que hoy son difíciles de observar durante el diseño,
- Diseñar elementos visuales que sean claros y comprensibles para todos,
- Permitir que los agricultores se proyecten con una herramienta fácil de usar.

Misión

La misión de esta pasantía es el diseño de visualizaciones en realidad aumentada, desde la fase de diseño hasta la versión final, implementada en realidad aumentada. Esta misión también incluye una fase de control con la redacción de protocolos de prueba y una fase de análisis tras el feedback de los usuarios. Las diversas tareas que componen la misión son:

- Realización de un estado del arte
- Selección de visualizaciones relevantes para representar
- Diseño de modelos 3D para cada visualización.
- Diseño de interfaces 2D
- Fases de desarrollo en C# en Unity
- Redacción de cuestionarios y protocolos de pruebas.
- Fase de facilitación del taller y prueba de usuario.
- Análisis de los resultados obtenidos

Estado del arte

Este estado del arte tiene como objetivo presentar soluciones, herramientas, métodos, investigaciones que puedan responder al problema de esta misión de fin de estudios. El objetivo es diseñar visualizaciones en realidad aumentada lo mejor posible. Sin embargo, este estado del arte no se centrará únicamente en la realidad aumentada. Los diferentes apartados del análisis de lo existente serán los siguientes:

- Realidad aumentada conocida por el público en general
- Realidad aumentada en el mobiliario de interior
- Realidad aumentada en las aplicaciones de Google
- Realidad aumentada en la cultura
- La realidad aumentada en el mundo de la investigación
- Técnicas de representación en videojuegos

Realidad aumentada conocida por el público en general

Aunque la realidad aumentada aún no es una tecnología completamente madura, vemos que apareció cada vez más en nuestro uso en la vida cotidiana. La explosión entre el gran público se produjo especialmente en 2016 con el juego para móviles Pokémon GO. El principio es simple, debes capturar a las criaturas famosas. Pero cuando llega el momento de capturar, todo sucede en realidad aumentada. El usuario ve al Pokémon en 3D, en el centro de la pantalla, virtualmente proyectado sobre el terreno real (observable a través de los fotosensores de su teléfono).



Figura 4 : Interfaz del juego Pokémon Go

Ahora analicemos la interfaz. Esto, como se puede ver en la Figura 4, es muy simplista y claro. En las esquinas inferiores izquierda y derecha, hay botones disponibles para personalizar tu captura y los objetos que utilizarás. En el centro, en la base de la pantalla, se encuentra el principal elemento de interacción, la pokébola que el usuario lanzará a la criatura deslizando el dedo hacia arriba. En la esquina superior izquierda, se coloca un botón de retroceso. En la parte superior, centro y derecha se disponen opciones de interés secundario, como hacer una foto o desactivar el modo realidad aumentada.

Es importante tener en cuenta que este juego móvil es para la inmensa mayoría del público en general su única interacción con la realidad aumentada. De hecho, Pokémon Go se ha descargado más de mil millones de veces en todo el mundo.

La otra forma principal que tiene el público para experimentar la realidad aumentada es a través de las redes sociales y sus filtros. Te permiten agregar virtualmente un sombrero, anteojos, cambiar tu maquillaje o el color de tus ojos (ver Figura 5). En estas aplicaciones, la interfaz es muy básica, los usuarios pueden desplazarse por los diferentes filtros disponibles y ver instantáneamente el efecto en la pantalla.



Figura 5 : Ejemplo de uso de realidad aumentada para filtros

Realidad aumentada en el mobiliario de interior

La famosa empresa de muebles IKEA también ha intentado adentrarse en la realidad aumentada con su aplicación IKEA Place (ver Figura 6). El objetivo es simple: tienes a tu disposición una serie de muebles y puedes incrustarlos en realidad aumentada en tu interior para observar sus tamaños y su adecuación con tu interior. Con el dedo podrás mover el mueble en el espacio. Cuando la posición te convenga, puedes congelar los muebles presionando el botón de confirmación en la parte inferior de la pantalla.



Figura 6 : La interfaz de la aplicación IKEA Place

Un contexto muy interesante es el trabajo de Kandil en su aplicación de diseño de interiores de realidad aumentada [1]. Este último, permite seleccionar de una lista, los muebles que el usuario desea colocar en realidad virtual.



Figura 7 : Primera aplicación creada por Kandil

La primera versión de la aplicación pretendía ser estética, pero era finalmente no fácil de usar (ver Figura 7). Un menú principal incluye la mayoría de las funciones, a las que, por lo tanto, no se puede acceder desde la pantalla de inicio.

Luego, un panel de 25 personas probó la aplicación de Kandil y sus colegas.

La prueba se llevó a cabo según varios pasos específicos. En primer lugar, los participantes tuvieron entre 10 y 15 minutos para familiarizarse con la aplicación, gracias a un tutorial que mostraba las funcionalidades. En segundo lugar, cada participante deberá realizar 5 tareas que han sido predefinidas previamente. Estas tareas incluyen encontrar, rotar y dimensionar objetos, así como agregarlos y eliminarlos. Además, se anota el tiempo que tarda cada candidato en realizar la acción. Finalmente, los participantes responden un cuestionario SUS (System Usability Scale), HARUS (Handheld Augmented Reality Usability Scale), así como preguntas abiertas. El cuestionario SUS es un método ampliamente utilizado para evaluar la usabilidad de una interfaz mediante preguntas que miden la facilidad de uso percibida y la satisfacción del usuario, generando así una puntuación de usabilidad general. El HARUS es un equivalente del SUS, pero específico de realidad aumentada.

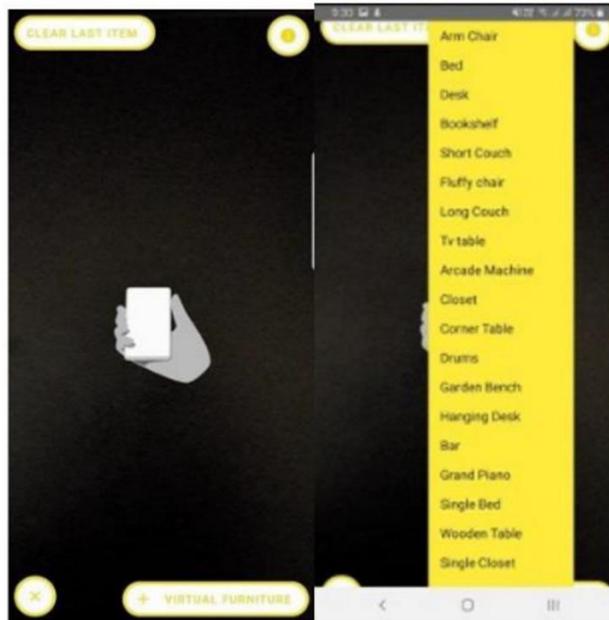


Figura 8 : Segunda aplicación creada por Kandil

Siguiendo los comentarios de los distintos participantes, la aplicación ha sido revisada (ver Figura 8). Muchos botones y funciones se mantienen directamente integrados en la pantalla principal. En la parte inferior derecha, el usuario quita un botón para añadir un mueble virtual a la escena: un menú desplegable con la lista de electrodomésticos que hay en el mueble. En la esquina superior izquierda es posible, por ejemplo, eliminar el último elemento añadido.

Tras estas modificaciones, las nuevas pruebas con el público fueron mucho más concluyentes y mostraron un resultado claro.

Realidad aumentada en las aplicaciones de Google

Muchas aplicaciones de Google también ofrecen funciones de realidad aumentada. Este es el caso, por ejemplo, de Google Arts & Culture (ver Figura 10). Esta aplicación ofrece al usuario admirar pinturas en realidad aumentada colocándolos directamente en el entorno del usuario. Para ello, la aplicación primero detecta y muestra, mediante líneas de puntos, las superficies planas donde se puede colocar el elemento. En la parte inferior de la pantalla, puede arrastrar y soltar el trabajo elegido en sentido ascendente. Una vez colocado el cuadro, es posible moverlo en el espacio a través del círculo blanco en el suelo. El usuario también puede grabar una foto o un vídeo con el botón en la base de la pantalla. En la parte superior izquierda, hay un botón de retroceso. En la parte superior derecha el usuario tiene acceso a las opciones y al botón de eliminar.

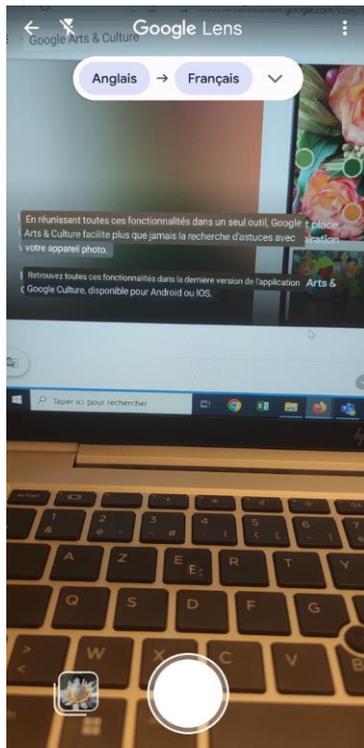


Figura 9 : Interfaz de Google Lens

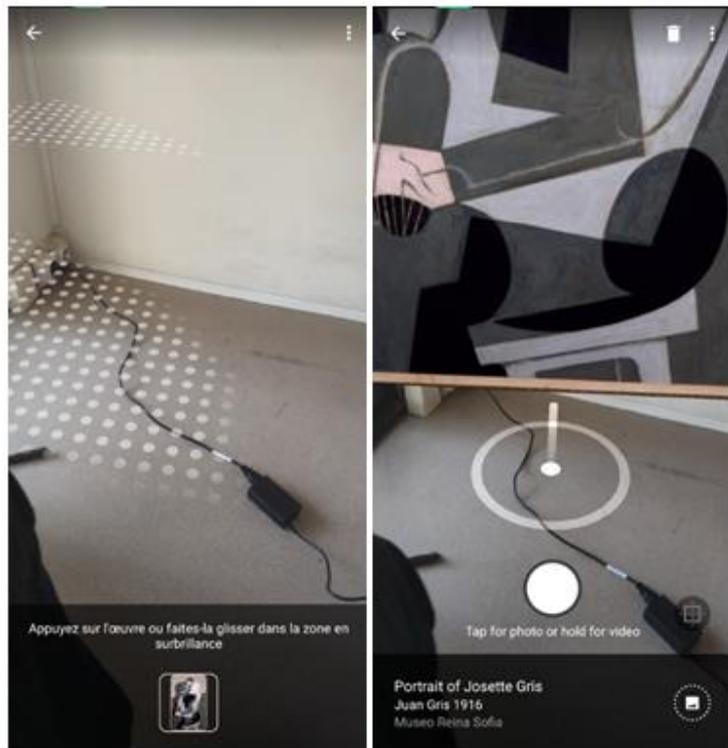


Figura 10 : Interfaz de arte y cultura

Otras dos aplicaciones de Google que utilizan realidad aumentada son Google Translate y Google Lens. Estas dos aplicaciones permiten, en particular, traducir un texto en tiempo real superponiendo el texto traducido al texto real (ver Figura 9). Una vez más, la interfaz es clara y ordenada. En la parte superior izquierda y derecha están los mismos botones de opción y de retroceso. En la base de la pantalla es posible tomar una foto para congelar la traducción. En la parte superior de la pantalla, el usuario selecciona el idioma de traducción.



Figura 11 : Google maps en realidad aumentada

Por último, una característica todavía poco utilizada y poco conocida es la orientación por realidad aumentada de Google Maps. En efecto, para los desplazamientos a pie, si tu teléfono es compatible, puedes activar esta opción que te permitirá ver flechas superpuestas a tu recorrido real (ver Figura 11). En la parte inferior de la pantalla siempre verás el plano 2D con tu ruta discontinua.

Realidad aumentada en la cultura

La realidad aumentada también está ganando terreno en el mundo del turismo. De hecho, ya no es raro ver lugares turísticos equipados con tabletas para ofrecer a sus usuarios experiencias de realidad aumentada. Este es el caso, por ejemplo, del Castillo de Chambord (ver Figura 12) o de la exposición inmersiva de Tutankamón en Madrid (ver Figura 13). En ambos casos, el visitante puede observar lugares como eran en otra época.

A través de la tablilla se superponen murales o muebles de la época de François I a las decoraciones reales.



Figura 12 : Tableta de realidad aumentada del castillo de Chambord



Figura 13 : Tableta de Realidad Aumentada en la Exposición Tutankamón de Madrid

En general, para el gran público la realidad aumentada no está muy democratizada. Las aplicaciones que lo utilizan son todas muy sencillas de utilizar y lo más claras posible para no perder al usuario.

La realidad aumentada también permite realizar restauraciones históricas a tamaño natural (ver Figura 14). Esto es lo que Matthew Leach y su equipo intentaron hacer recreando en tamaño real el castillo medieval del centro de Sheffield [2]. Para ello, se utilizó un modelo 3D simplificado de la región, así como una fusión de sensores para ayudar con la alineación del castillo.



Figura 14 : Castillo de Sheffield en realidad aumentada

La realidad aumentada en el mundo de la investigación

En el mundo de la investigación, muchos trabajos se centran en la realidad aumentada y sus potenciales aplicaciones. Algunos trabajos son muy interesantes para ayudar en la misión de esta pasantía.

Rebecca Napolitano, por ejemplo, trabajó en 2019 en la evaluación de las tasas de deterioro de las infraestructuras mediante realidad aumentada [3]. El objetivo aquí es dar al usuario la posibilidad de rastrear directamente las áreas deterioradas. La idea propuesta es tomar una foto que se superpondrá al entorno y luego dibujar sobre esta foto, cuyo diseño también se mostrará bien en el entorno 3D (ver Figura 15).

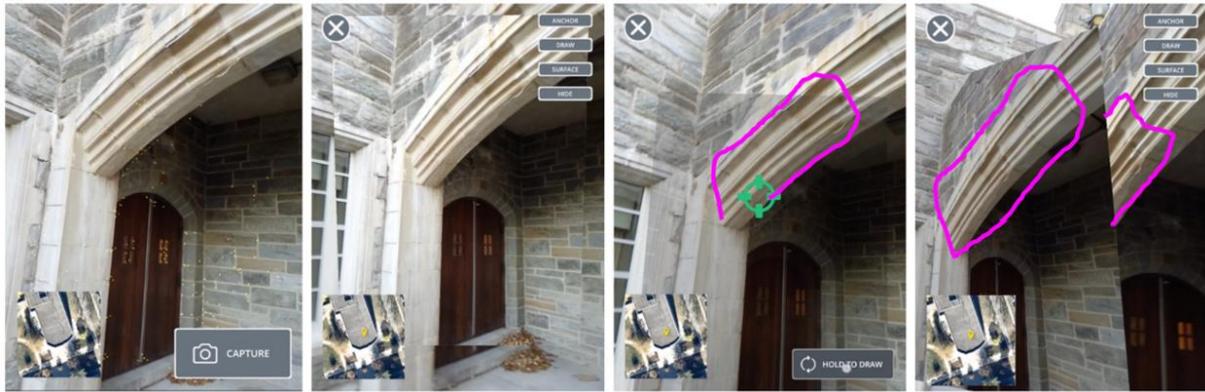


Figura 15 : Interfaz creada por Napolitano

Como se vio anteriormente en las otras aplicaciones, el botón de retroceso se coloca en la esquina superior izquierda. Los botones de acción principales se encuentran en la parte inferior derecha. El espacio en la parte inferior derecha cambia el botón que se mostrará según las acciones del usuario. En la parte superior derecha, hay diferentes opciones disponibles. La esquina inferior izquierda sirve como información adicional, en este caso concreto indica la posición mediante un pequeño mapa.

Napolitano y los distintos autores de este trabajo precisan que se respetan los conceptos explicados por Alexandra Olarnyk en 2018 [4]. Según ella, los 3 pilares principales del diseño de una interfaz para realidad aumentada son los siguientes:

- Piensa en cómo interactúan los mundos real y digital.
- Tener un nivel flexible de inmersión,
- La interfaz debe ir más allá de la pantalla.

El autor explica cómo integrar la realidad aumentada en el diseño teniendo en cuenta la diversidad de dispositivos, como el número de usuarios, la movilidad y la fidelidad de entrada/salida. Según ella, el concepto de realidad aumentada desafía las interacciones humanas, la distribución de la informática y el papel de la interfaz.

El trabajo de Dany Naser Addin tiene como tema el control de un enjambre de drones a través de una interfaz en realidad aumentada [5]. El contexto de este estudio es la situación de crisis. En concreto, situaciones de gestión de incendios. Dany buscó diseñar la aplicación de realidad aumentada para cascos más efectiva posible para controlar una gran cantidad de drones en una situación de emergencia. Aunque funciona con unos auriculares, resulta interesante la aplicación para Android de planificación de misiones, desarrollada por Dany y que funciona de forma coordinada con la aplicación principal. De hecho, las trayectorias se representan mediante líneas de puntos de diferentes colores y siguen siendo legibles a pesar de la gran cantidad de drones (ver Figura 16).



Figura 16 : Imágenes del planificador de la misión y visualización de la trayectoria del enjambre.

No en el tema de la agroforestería, sino en el de la silvicultura, el trabajo de Goulven Kermarec en 2019 puede resultar interesante en muchos aspectos [6]. Los aserraderos son lugares donde se almacenan haces de madera, donde se manipula maquinaria pesada. El objetivo de Kermarec es crear una aplicación de realidad aumentada para ayudar a los trabajadores a manipular la maquinaria. Se pueden ver imágenes tomadas directamente de su trabajo en la Figura 17 y la Figura 18.

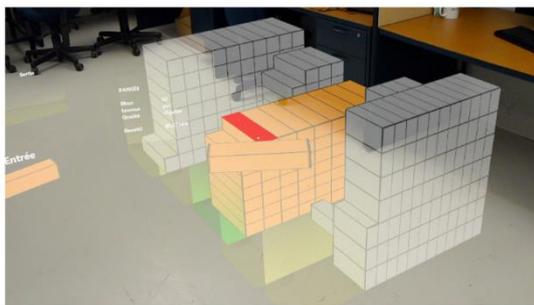


Figura 17 : Indicación visual de que la pila de destino está llena



Figura 18 : Un paquete seleccionable en la fila activa se resalta cuando la mirada del usuario está sobre él

Para indicar al usuario que un elemento está seleccionado, se opta por mostrar este en naranja. Un espacio no disponible se muestra simplemente resaltando un lado en rojo.

El menú es circular. La opción seleccionada también aparece coloreada. Tenga en cuenta aquí que este menú circular se adoptó porque es más adecuado para aplicaciones de realidad aumentada con casco de realidad aumentada (ver Figura 19).



Figura 19 : Menú circular

Para continuar con las aplicaciones de realidad aumentada basadas en cascos, podemos mencionar aquí el siguiente trabajo : Una comparación de la interfaz de usuario natural y la interfaz gráfica de usuario para narrativa en realidad aumentada basada en HMD [7]. Los autores recuerdan aquí que los 3 tipos principales de interfaces utilizadas en la realidad aumentada son GUI (Interfaz gráfica de usuario), TUI (Interfaz de usuario basada en texto) y NUI (Interfaz de usuario natural). La interfaz GUI utiliza elementos gráficos como iconos, ventanas, menús y botones. La interfaz TUI utiliza principalmente texto. Finalmente, la interfaz NUI utiliza las interacciones naturales entre humanos como gestos, habla, movimiento o tacto. En su trabajo, los autores diseñaron una interfaz lo más natural posible y la aplicaron a un contexto narrativo de realidad aumentada (ver Figura 20).



Figura 20 : Ejemplo de escenas guionadas en realidad aumentada

Este trabajo demostró que una interfaz de usuario natural (NUI) genera una mayor participación en la experiencia entre los principiantes en juegos de rol (RPG). Sin embargo, los jugadores de juegos de rol prefieren las interfaces gráficas de usuario (GUI) a las NUI.

Sigamos explorando el tema de las interfaces de realidad aumentada mirando el siguiente artículo: “Diseño de una aplicación móvil de realidad aumentada: un ejemplo de usabilidad demostrada” [8]. Como parte del siguiente estudio, se ha diseñado una aplicación de realidad aumentada esforzándose en respetar los principios de usabilidad que ofrezcan una experiencia que satisfaga al máximo los requisitos del usuario.



Figura 21 : Interfaz creada en el artículo (Tsai et al. 2016)

La idea principal aquí es estimar que los usuarios navegan por la pantalla de abajo hacia arriba y de izquierda a derecha. Por eso colocaron los botones de menú en la esquina inferior izquierda. Esto abre un menú circular lleno de opciones (ver Figura 21). Varios especialistas han considerado que esta aplicación respeta los criterios de usabilidad. Sin embargo, el contexto y finalidad de la aplicación, aunque es realidad aumentada, podría alejarse del contexto de las parcelas agroforestales. De hecho, el trabajo realizado aquí debería permitir a los usuarios comprender mejor el diseño externo de una campana extractora.

Los medios utilizados para transmitir la información son muy importantes y más en realidad aumentada, donde el usuario puede perderse rápidamente. En 2017, Perea y sus colegas trabajaron en la mejor manera de representar elementos fuera de cámara en realidad aumentada [9]. Una solución probada fue la de colocar círculos rojos en el borde de la pantalla. Estos círculos cambian de tamaño dependiendo de la distancia a los elementos fuera de la pantalla. Si hay varios elementos, se muestra un número para indicar su número (ver Figura 22).

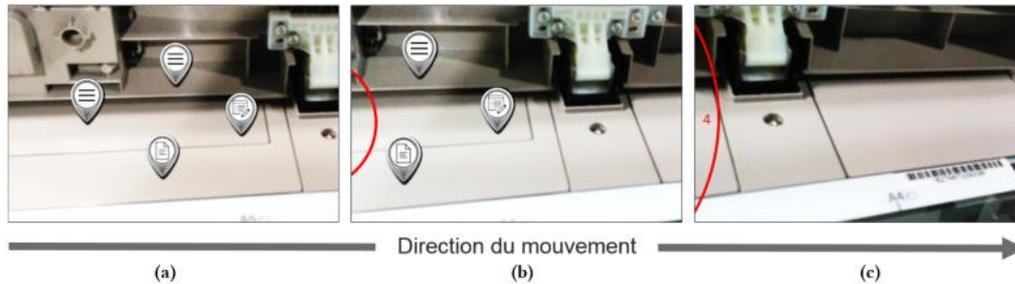


Figura 22 : Interfaz creada por Perea

Finalmente, finalizaré esta parte haciendo referencia al artículo de Zarzuela de la Universidad de Valladolid [10]. Este trabajo consistió en imaginar un serious game dirigido a niños y personas con discapacidad, ofreciendo una variedad de actividades que se desarrollan en un zoológico virtual accesible a través de un dispositivo móvil. El usuario puede explorar varios escenarios con tareas específicas relacionadas con el animal elegido en la escena principal, permitiendo una experiencia interactiva y personalizada (ver Figura 23).



Figura 23 : Serious Game creado por la Universidad de Valladolid

Este trabajo tiene muchos puntos en común con las demostraciones producidas como parte de esta misión de fin de estudios. De hecho, se utiliza, por ejemplo, el formato modelo. Los animales o árboles no están en tamaño real, sino que están colocados sobre un modelo 3D que se puede poner sobre una mesa. Luego este proyecto se realizó con Unity 3D. Los elementos representados son en parte similares a los elementos que utilizaré para mi misión de prácticas (árboles de diferentes tamaños en baja resolución, hierbas, etc.). Finalmente, se puede acceder a este juego serio a través de un teléfono inteligente o tableta.

Técnicas de representación en videojuegos

Hay un último ámbito que es interesante explorar para completar este estado del arte : los videojuegos. De hecho, los desarrolladores de videojuegos trabajan constantemente con elementos 3D y deben transmitir mucha información en la pantalla, manteniendo una gran claridad. Estoy particularmente interesado aquí en los juegos de gestión y simulación que ofrecen una visión global al jugador. De hecho, estos últimos pueden ver un mapa enorme, a menudo en 3D, o en 2D con elementos en perspectiva. Los desarrolladores deben crear una interfaz clara y encontrar indicaciones visuales significativas para no ahogar al jugador. La experiencia de juego debe seguir siendo fluida y comprensible para el mayor número de personas posible.

En esta parte, nos interesará especialmente el juego Cities Skylines. Cities Skylines es un juego de simulación de edificios urbanos donde los jugadores crean y administran su propia ciudad de una manera realista e inmersiva, incluyendo la planificación urbana, la economía y las necesidades de los habitantes.

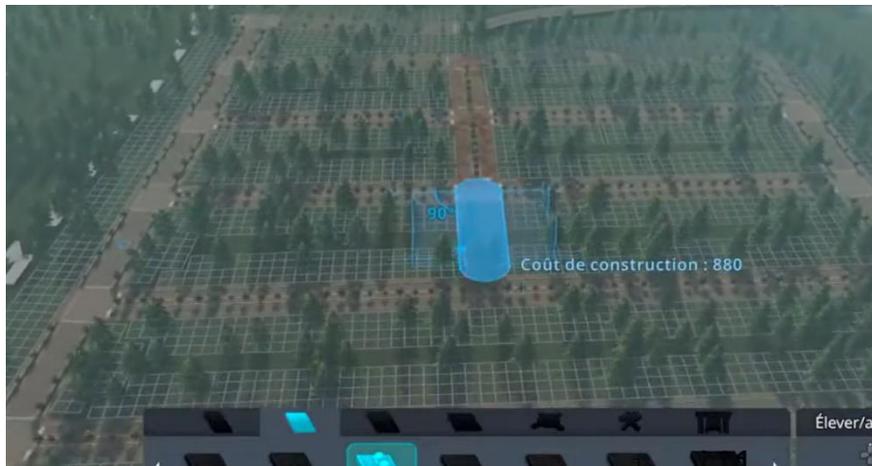


Figura 24 : Imagen del juego Cities Skylines (construcción de carreteras)

En la Figura 24, el jugador está construyendo una carretera. La zona donde está a punto de trazar su ruta se muestra en azul. El resto del escenario no cambia de color, pero se agrega una cuadrícula para indicar más claramente al jugador dónde puede trazar sus caminos. Así, gracias a la grilla, el usuario no necesita intentar ubicar la vía para garantizar la viabilidad de esta acción.

Observemos ahora la situación en la que un jugador intenta colocar una carretera en un espacio ya ocupado (ver Figura 25).



Figura 25 : Imagen del juego Cities Skylines (construcción de carreteras imposibles)

Esta vez, el área aparece en rojo para indicarle al usuario un problema. Además, la afirmación "¡espacio ya ocupado!" se añade en naranja.



Figura 26 : Imagen del juego Cities Skylines (nueva construcción de carreteras imposibles)

Observemos ahora la construcción de un único elemento urbano (ver Figura 27). El sistema de cuadrícula se utiliza nuevamente para indicar los espacios disponibles. Cuando el jugador coloca un edificio en uno de estos espacios, se muestra en verde.



Figura 27 : Imagen del juego Cities Skylines (construcción de un edificio)

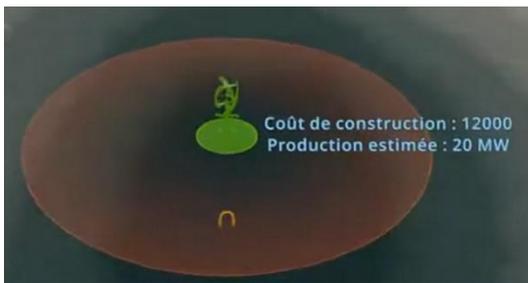


Figura 28 : Imagen del juego Cities Skylines (construcción de un edificio sobre el agua)

Si el elemento a colocar tiene campos de acción, los desarrolladores han utilizado varios métodos de representación según el contexto. Por ejemplo, para colocar este elemento en el mar (ver Figura 28), se dibuja un simple círculo de color a su alrededor. Éste es muy legible, en particular gracias a la ausencia de otros elementos en esta superficie plana que es el agua.

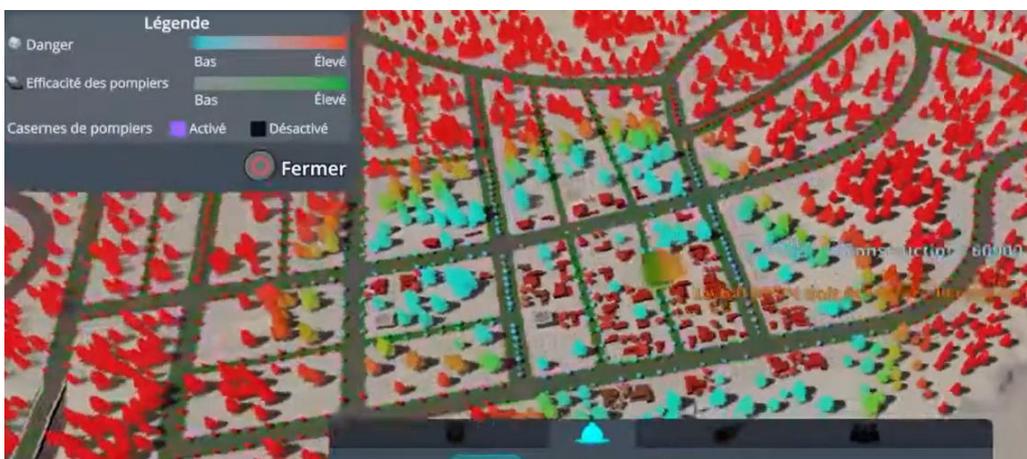


Figura 29 : Imagen del juego Cities Skylines (Construyendo una estación de bomberos)

Pero en otros casos, la elección del círculo no es la más acertada, dadas las elecciones realizadas por los desarrolladores de Cities Skylines. En efecto, cuando el elemento tiene una acción, no fija, que varía según la distancia, es necesaria otra elección de representación. Tomemos el caso, por ejemplo, de añadir una estación de bomberos al mapa. El parque de bomberos tiene un mayor o menor radio de acción a su alrededor. Esto hace que, ante los incendios, determinadas zonas de la ciudad estén más o menos en peligro. Para representar esto, los desarrolladores optaron por un degradado de azul a rojo (ver Figura 29). El resto del mapa ha cambiado de color y ahora se muestra en blanco y gris para facilitar la legibilidad de la información.

Síntesis

Este estado del arte exploró los campos de la realidad aumentada accesibles al público en general, la investigación en el campo de la realidad aumentada, el mobiliario, la cultura, así como las técnicas de representación en los videojuegos. El objetivo era tener el panel más diverso posible para poder diseñar las visualizaciones de forma inteligente.

La realidad aumentada está experimentando una adopción creciente, pero lenta, en diversas aplicaciones como juegos, redes sociales, diseño de interiores y turismo. Las interfaces de estas aplicaciones están diseñadas para ser simples e intuitivas, teniendo en cuenta la interacción entre el mundo real y el digital.

En el contexto de la investigación, se han examinado diversas aplicaciones de la realidad aumentada, que van desde la evaluación de las tasas de deterioro de la infraestructura hasta la gestión de enjambres de drones. Se abordaron los principios de usabilidad y los desafíos de la interfaz para crear experiencias perfectas.

Finalmente, las técnicas de representación visual utilizadas en videojuegos, como en Cities Skylines, ilustran cómo la claridad y la comunicación de información compleja son cruciales para una experiencia de usuario exitosa.

Como podemos ver con el estado del arte, la realidad aumentada es una tecnología aún poco utilizada. Las herramientas que realmente utilizan esta tecnología son todavía relativamente raras. Y esto también ocurre en el mundo de la agroforestería y más concretamente en el diseño de parcelas agroforestales.

Además, los estudios de campo, realizados antes del inicio de esta misión de fin de estudio, nos permitieron recopilar información importante sobre las expectativas, necesidades, deseos y forma de trabajar de los agricultores y asesores agrícolas en agroforestería. Como se explica en la problemática, hoy en día los asesores agrícolas que trabajan con los agricultores para apoyarlos en la agroforestería simplemente no tienen las herramientas. En el mejor de los casos, utilizan un plano, un mapa satelital de la trama y la trama, dibujan sobre él. Con estas prácticas, es difícil representar elementos en 3 dimensiones o que evolucionan en el tiempo.

Realización

Definición

La primera fase del trabajo fue definir los métodos para alcanzar los diferentes objetivos. Como se explicó anteriormente, el objetivo de esta pasantía es diseñar visualizaciones de realidad aumentada para ayudar a agricultores y asesores agrícolas en el diseño de parcelas agroforestales. Más concretamente, el objetivo es disponer de varios modelos argumentales en realidad aumentada. El objetivo no es tener una herramienta completa y utilizable como producto terminado, sino tener demostradores para probar:

- El interés de este tipo de herramientas para el público interesado,
- La comprensión el mensaje transmitido,
- La elección de diferentes representaciones.

La organización se divide en varias fases. En primer lugar, es necesario, a través del estado de la técnica, hacer un estado del arte de las técnicas de representación 3D, concretamente en realidad aumentada. En segundo lugar, es necesario seleccionar las representaciones a implementar y las formas de representarlas. El siguiente paso es escribir los protocolos de prueba para medir las visualizaciones. A esta fase le seguirá la integración y el desarrollo en Unity. Me acompañó, especialmente durante esta fase, una pareja de pasantes: Gabriel Masson. Al estar más especializado en desarrollo, pudo aportarme su experiencia y ayuda en esta área. Luego llegará el momento de las fases de prueba con el público interesado. Finalmente, la última fase constará de una fase de control y análisis de los resultados. Esta organización tiene previsto realizar las pruebas y los distintos talleres lo antes posible en la temporada de verano.

Las fases de reflexión sobre las actuaciones y el desarrollo de los talleres serán el resultado de encuentros con Laetitia LEMIERE y Guilhem Brunel.

Las diferentes herramientas que se han utilizado son las siguientes:

- Zotero para la fase de estado del arte,
- Paint 3D para modelar,
- Unity para el desarrollo,
- Github para trabajo colaborativo y sostenibilidad de proyectos.

El proyecto se considerará un éxito si todos los pasos descritos anteriormente se llevan a cabo a tiempo y se ha realizado el análisis de los resultados obtenidos por parte de expertos en agroforestería.

Presentación de Unity

Durante estas prácticas, y más concretamente durante la fase de desarrollo, utilicé el software Unity. Es una plataforma de desarrollo de videojuegos, realidad virtual (VR) y realidad aumentada (AR) creada en 2005. Es uno de los motores de juegos más populares del mundo. Los desarrolladores pueden crear juegos e implementarlos en múltiples plataformas, como PC, consolas, dispositivos móviles y la web. El motor también admite gráficos 3D de alta calidad, física realista y presenta un mercado de activos para ayudar en el desarrollo del juego. Unity se utiliza para crear una amplia variedad de juegos, desde pequeños juegos independientes hasta grandes producciones AAA (ver la Figura 30). Además de los videojuegos, Unity también se utiliza en áreas como simulación, juegos en realidad virtual y realidad aumentada. Para crear juegos en Unity, los desarrolladores usan C#, por lo que es el mismo lenguaje que usé durante mi pasantía.



Figura 30 : Ejemplo de juegos desarrollados en Unity

En el caso de esta pasantía se utilizaron todas las funciones de realidad aumentada que ofrece Unity. Utilizamos una tableta y un teléfono Android como soporte de desarrollo para instalar las diferentes versiones de la aplicación directamente en ellos.

La Figura 31 muestra la interfaz de Unity. Agregué rectángulos de diferentes colores para separar las ventanas y explicar fácilmente su propósito, una por una.

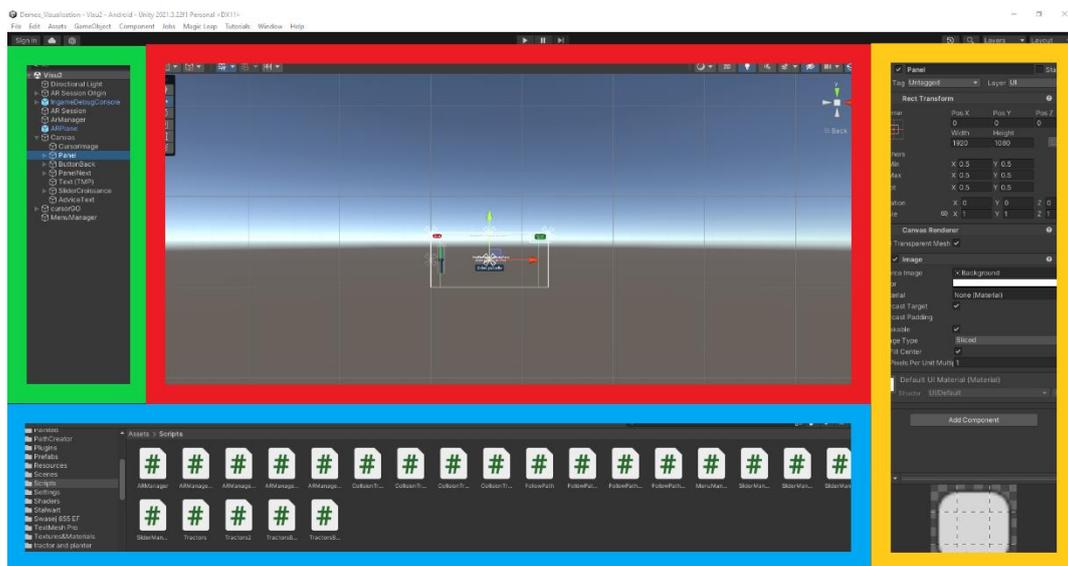


Figura 31 : Interfaz de Unity con rectángulos de colores para separar ventanas

Esta pantalla es la interfaz principal cuando se abre un proyecto. Incluye varias partes clave que facilitan la creación y gestión del contenido del juego. A continuación, se describe las partes principales.

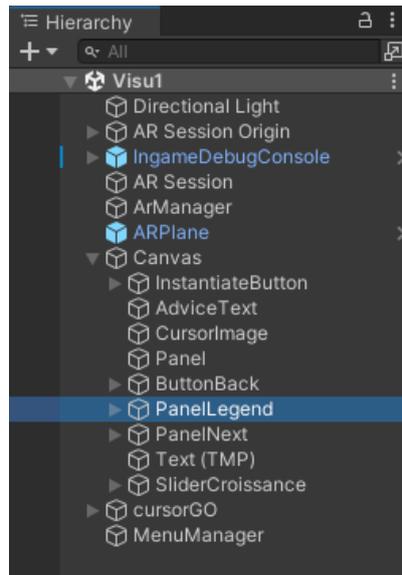


Figura 32 : Ventana "Hierarchy" de Unity

« Hierarchy » (ver Figura 32) (en verde en la Figura 31) muestra una lista jerárquica de todos los objetos presentes en la escena "Visu1". Esta sección le permite visualizar la estructura de los objetos en la escena y organizarlos según sus relaciones padre-hijo.

« Inspector » (ver Figura 34) (en amarillo en la Figura 31) muestra los detalles y propiedades del objeto seleccionado en la escena o en la jerarquía. Puede modificar los componentes adjuntos al objeto, ajustar los parámetros de transformación (posición, rotación, escala), gestionar los scripts asociados, aplicar materiales y texturas, etc.

"Scene View" (ver Figura 33) (en rojo en la Figura 31) es donde construye y edita la escena 3D. Aquí es donde mueves, rotas y escalas objetos en el entorno, agregas nuevos elementos, ajustas las propiedades de los objetos y colocas cámaras. Este espacio también permite simular en tiempo real la aplicación en desarrollo. Aquí es donde obtenemos una vista previa del renderizado final tal como lo verán los usuarios.

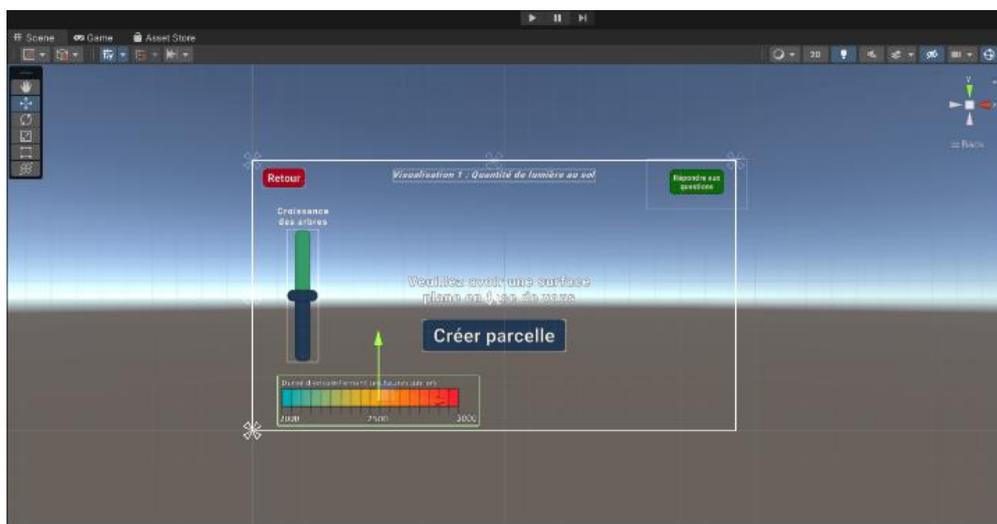


Figura 33 : Ventana "Scene View" de Unity

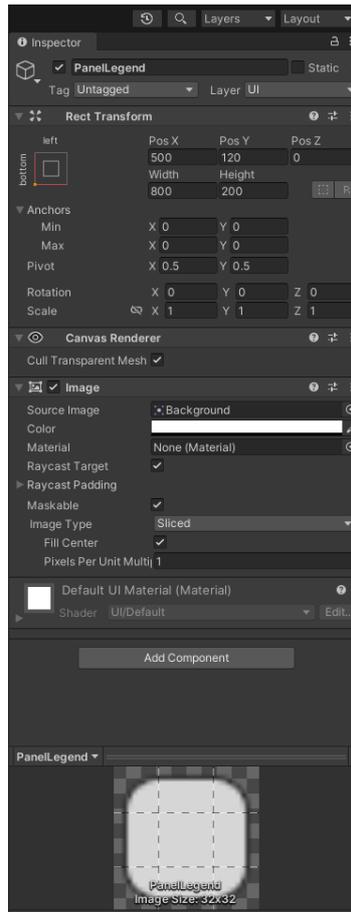


Figura 34 : Ventana "Inspector" de Unity

« Project » (ver Figura 35) (en azul en la Figura 31) muestra los archivos y carpetas que componen el proyecto de Unity. Esto incluye escenas, script, texturas, modelos 3D, efectos de sonido y cualquier otro recurso utilizado.

« Console » (en azul en la Figura 31) muestra mensajes, advertencias y errores generados por Unity durante la ejecución.

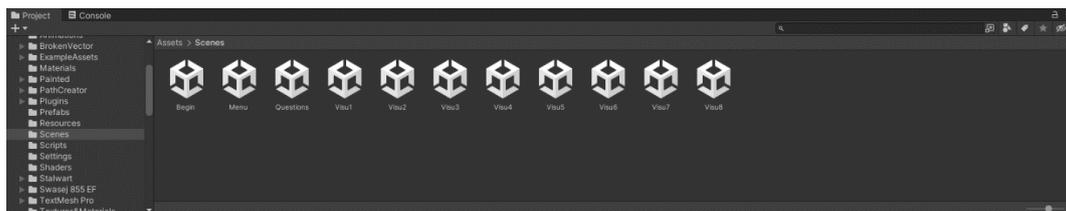


Figura 35 : Ventana "Project" de Unity

Es importante definir también otras dos nociones, esenciales para Unity, que tuve que utilizar durante la fase de desarrollo:

- Un « prefab » es un modelo de objeto reutilizable que se crea una vez y se duplica fácilmente en el proyecto. Ayuda a mantener la coherencia y ahorrar tiempo al actualizar todas las instancias de un objeto cuando cambia el prefab.
- Una escena es el espacio virtual donde organizamos, creamos y ensamblamos los elementos del juego o aplicación. Se utiliza para definir el entorno en el que se colocarán y gestionarán objetos, personajes, escenarios, luces y otros elementos interactivos. Una escena puede representar un nivel de juego, un menú principal,

3D en diferentes formatos, lo que la hace accesible tanto para principiantes como para usuarios más experimentados (ver Figura 38).

Para las fases de modelado 3D, no buscaba producir representaciones 3D extremadamente precisas, sino más bien con fines ilustrativos. Entonces Paint 3D fue muy útil y una herramienta rápida para satisfacer mis necesidades.

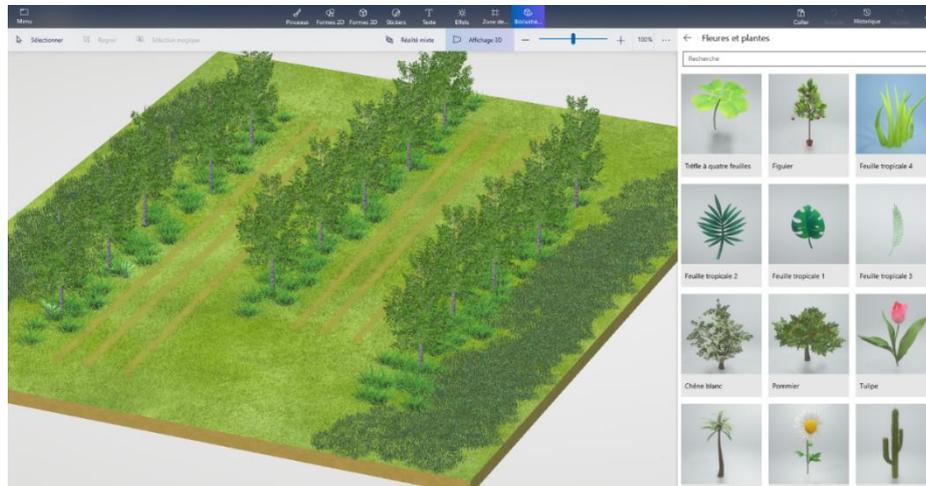


Figura 38 : Interfaz de Paint 3D

Modelización

Selección de visualizaciones

Durante esta pasantía de fin de estudios, el tiempo disponible no permite hacer una lista exhaustiva de los posibles fenómenos que aparecen en una parcela agroforestal. Por tanto, es necesario definir primero los elementos más solicitados por los agricultores y asesores agrícolas. Para ello nos basamos en las encuestas citadas anteriormente y ya realizadas como parte de esta misma tesis.

Hemos conservado las siguientes 3 representaciones :

- El paso de máquinas,
- La cantidad de luz en el suelo,
- La repulsión de plagas.

El objetivo del "paso de máquinas" es dar al usuario un medio para comprobar si su vehículo agrícola pasa correctamente por su parcela, en función del tamaño de las avenidas de árboles. Esta petición destacó especialmente tras el análisis de las encuestas. De hecho, en caso de impacto con el tractor y daños a la madera, el agricultor corre el riesgo de ver disminuir el valor de la madera. En el peor de los casos, puede incluso matar el árbol. La "cantidad de luz en el terreno" es una visualización que tiene como objetivo visualizar la luz que recibe el terreno a lo largo del año, en función de la disposición de los árboles en la parcela. Finalmente, fenómenos complejos de interacción, la repulsión de plagas, que se obtienen combinando diferentes especies de árboles y plantas. Además, al ser estos 3 fenómenos bastante diferentes, nos permiten probar diferentes medios visuales.

También se diseñaron, desarrollaron y presentaron otras 4 visualizaciones. Estas otras 4 representaciones son combinaciones de las 3 primeras. El objetivo es ofrecer visualizaciones que permitan observar todas las posibles interacciones entre las 3 representaciones que se han seleccionado. Uno de los indicadores de rendimiento también será evaluar la legibilidad de estas combinaciones a pesar de la posible sobrecarga de información. Aquí el detalle de estas últimas 4 visualizaciones :

- El paso de las máquinas + La cantidad de luz en el suelo,
- El paso de máquinas + La repulsión de plagas,
- La cantidad de luz en el suelo + La repulsión de plagas,
- La cantidad de luz en el suelo + La repulsión de plagas + El paso de las máquinas.

Descripción del protocolo de prueba

Contexto

Durante la pasantía tuvimos que definir los indicadores de desempeño que nos permitirán medir el desempeño de nuestras visualizaciones y la brecha con el objetivo esperado. En nuestro caso, resulta interesante confrontar directamente a los asesores agrícolas y al personal en campo con las representaciones en realidad aumentada. Teléfono y tableta en mano, deben poder darnos su opinión precisa sobre varios criterios. Se ha desarrollado un protocolo de prueba y varios cuestionarios.

En total, las diferentes sesiones de prueba permitieron recabar la opinión de 20 personas. La prueba se desarrolló de la siguiente manera : cada participante tenía una tableta o un teléfono a su disposición (la mayoría tenía un dispositivo para compartir con dos, pero tenía tiempo para experimentar solo alternativamente).

En los dispositivos, se instaló previamente nuestra aplicación, que contiene 7 visualizaciones para experimentar en realidad aumentada. Entre cada visualización, la aplicación muestra un mensaje invitándole a responder el cuestionario correspondiente, antes de pasar a la siguiente demostración. El cuestionario estaba en formato papel y se distribuyó a cada participante.

Sólo 3 personas, al estar remotamente en vídeo, tenían diferentes condiciones : ella no podía manejarlo ella misma, pero observaba capturas de vídeo de la aplicación y luego respondía directamente al cuestionario en versión Word antes de enviármelo.

También, tenga en cuenta que cada participante tuvo un contexto deliberadamente rápido antes de probar la herramienta. Además, 6 de ellos participaron, antes de la fase de pruebas, en una fase de surgimiento de ideas que lideré. El objetivo era resaltar sus necesidades, deseos e imaginaciones respecto a la realidad aumentada aplicada a la agroforestería. Para ello, les presenté la realidad aumentada con más detalle, mediante una presentación de diapositivas (ver Figura 39). El objetivo era conducir posteriormente a una reflexión colectiva sobre posibles aplicaciones en agroforestería.

Las ideas que hayan podido surgir de esta fase no serán transcritas en el análisis de los resultados presentados en este informe.



Figura 39 : Ejemplo de diapositivas presentadas antes de las pruebas

Finalmente, los perfiles de los individuos eran bastante variados, pero todos tenían algo en común : conocimientos sobre agricultura y/o agroforestería. Había 4 técnicos, 2 especialistas en agroforestería y los demás eran investigadores.

Cuestionarios

Cada cuestionario incluye varios tipos de preguntas para recuperar la mayor cantidad de información relevante posible. El primer elemento no es una lista de preguntas, sino una lista de afirmaciones. Para cada afirmación, el participante puede responder con :

- En absoluto desacuerdo,
- No estar de acuerdo,
- Ni de acuerdo ni en desacuerdo,
- Acuerdo,
- Totalmente de acuerdo.

El objetivo es recuperar la mayor cantidad de respuestas sobre preguntas que van desde lo general a lo específico. Entre estas afirmaciones, 5 son generales y comunes a todas las visualizaciones. El objetivo aquí es tener una forma eficaz de comparar las 7 visualizaciones, en 5 puntos clave :

- La coherencia,
- Legibilidad,
- Complejidad,
- Instalación de utilización,
- Interés.

Utilizamos el resultado de estas 5 preguntas para calcular una puntuación, que se basa en el cuestionario, ya mencionado en el estado del arte, estandarizado por el estadounidense John Brooke en 1986 : System Usability Scale (SUS) (ver Figura 40). Este cuestionario tiene la ventaja de dar resultados fiables y rápidos. Permite medir la usabilidad de un sistema. Ofrece una escala clara de resultados. Se puede utilizar en muestras pequeñas con resultados fiables.

The System Usability Scale Standard Version		Strongly Disagree	1	2	3	4	5	Strongly Agree
1	I think that I would like to use this system frequently.		0	0	0	0	0	0
2	I found the system unnecessarily complex.		0	0	0	0	0	0
3	I thought the system was easy to use.		0	0	0	0	0	0
4	I think that I would need the support of a technical person to be able to use this system.		0	0	0	0	0	0
5	I found the various functions in this system were well integrated.		0	0	0	0	0	0
6	I thought there was too much inconsistency in this system.		0	0	0	0	0	0
7	I would imagine that most people would learn to use this system very quickly.		0	0	0	0	0	0
8	I found the system very awkward to use.		0	0	0	0	0	0
9	I felt very confident using the system.		0	0	0	0	0	0
10	I needed to learn a lot of things before I could get going with this system.		0	0	0	0	0	0

Figura 40 : Les 10 affirmations du questionnaire SUS

Originalmente está compuesto por 10 preguntas. En nuestro caso tenemos muchos elementos variados para evaluar y tenemos poco tiempo para el resto de preguntas que queremos plantear. De hecho, las afirmaciones del cuestionario SUS son muy generales y es necesario comprobar otros aspectos y opciones mucho más precisas. Por lo tanto, sólo se mantuvieron 5 preguntas de la prueba original. Estas 5 afirmaciones fueron modificadas para adaptarse a nuestro contexto y a los 5 puntos clave (citados anteriormente) que queríamos medir.

El método de cálculo sigue siendo el mismo, pero obviamente se modifica para pasar a un formato de 5 preguntas. Cada respuesta (En absoluto desacuerdo, en desacuerdo, etc.) corresponde a un número entre 1 y 5. Hay una distinción entre las afirmaciones que

suenan negativas y positivas. A continuación, se muestran las frases positivas en verde y las negativas en rojo :

- Me gustaría utilizar esta herramienta con frecuencia,
- Esta herramienta es innecesariamente compleja,
- Esta herramienta es fácil de usar,
- Hay demasiadas inconsistencias en esta visualización,
- La legibilidad general de esta visualización es buena.

Para las afirmaciones verdes, calculamos la diferencia entre la respuesta proporcionada por el participante y 1.

Para las afirmaciones rojas, calculamos la diferencia entre 5 y la respuesta proporcionada por el participante.

Luego calculamos el total, que multiplicamos por 2,5 para obtener un resultado que varía entre 0 y 100 (ver Figura 41). Sólo el valor por el que modificamos la suma es diferente en nuestro caso respecto al cuestionario SUS original. En efecto, con 5 preguntas para nosotros (y no 10), debemos multiplicar por 5 y no por 2,5.



Figura 41 : "Acceptability score" del SUS

Cada uno de los 7 cuestionarios es único y está diseñado para recuperar la información necesaria correspondiente a la visualización en cuestión. Sólo las 5 preguntas del cuestionario SUS modificado están presentes en todas partes. Así, será posible comparar las puntuaciones del SUS entre sí e incluso comparar punto por punto las diferencias en términos de legibilidad, coherencia, etc.

El segundo elemento de estos cuestionarios es un conjunto de preguntas cerradas para comprobar la correcta comprensión de diferentes elementos. Volveremos sobre esto en la sección de análisis de resultados.

Después del último cuestionario, una parte no se refiere a una visualización concreta, sino a todas las combinaciones. Hay dos preguntas diferentes a las anteriores. Una pregunta pide al usuario que marque las combinaciones que considera explotables como herramienta en el futuro. La siguiente pregunta le permite clasificar las combinaciones de mayor a menor preferencia. Estas clasificaciones nos permitirán comparar combinaciones de forma eficaz. Para resumir los diferentes clasificaciones obtenidos, utilizaremos varios métodos : Condorcet y Schulze.

El método Condorcet es un sistema de votación que compara a los candidatos de dos en dos para determinar el ganador. El candidato que gana todos sus duelos es declarado ganador, en caso contrario se utilizan otros métodos para resolver situaciones más

complejas. Su objetivo es elegir al candidato preferido por la mayoría de los votantes en enfrentamientos directos.

El método Shulze es un método perfectamente complementario al Condorcet, para designar un ganador si un candidato no logra ganar todos sus duelos. Schulze es un sistema de votación que tiene en cuenta las preferencias individuales de los votantes para clasificar a los candidatos. Evalúa la fuerza de las victorias en los duelos entre los candidatos y construye un orden de preferencia global a partir de esta información. El candidato que obtenga la clasificación más alta según este método será declarado ganador. Gracias a estos métodos podremos comparar y clasificar perfectamente estas 4 combinaciones.

Finalmente, también hay espacios en cada cuestionario para realizar observaciones y comentarios diversos. Estos también serán analizados para afinar y complementar las reflexiones.

Análisis

El objetivo de esta misión de fin de estudios es representar un gráfico del tamaño de una maqueta, que pueda proyectarse virtualmente sobre una mesa. Las decisiones técnicas y tecnológicas ya se tomaron durante el trabajo anterior a mis prácticas. Mi trabajo radica en la elección de interfaces y visualizaciones que sean legibles y combinables entre sí. Para realizar esta selección nos basamos en estudios previos, así como en el estado del arte.

Concepción de las visualizaciones

La cantidad de luz en el suelo

Este primer fenómeno corresponde a la luz del sol en la tierra durante todo un año. Esta representación sólo se refiere al terreno, entonces, parece lógico utilizar un mapa de calor 2D. Además, esta representación es conocida porque se encuentra en pronósticos meteorológicos o mapas de rendimiento que ya pueden usarse en un contexto agrícola, como se muestra en las figuras siguientes (ver Figura 42). El degradado varía de azul a rojo. Esta gama de colores se usa comúnmente y es significativa para la gran mayoría de usuarios.

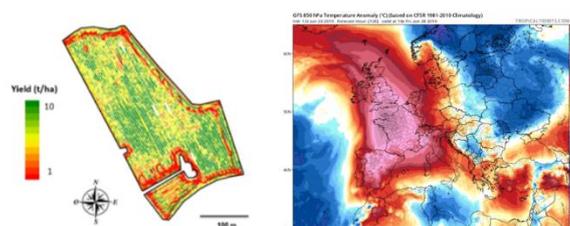


Figura 42 : Ejemplo de tonos de color aplicados a la agricultura o al clima

Hemos optado por adoptar la idea inspirada en Cities Skylines, de poner los árboles en blanco (ver Figura 29). En este juego, los desarrolladores tuvieron que idear formas intuitivas de representar claramente varios elementos sin afectar la legibilidad del juego. Cuando necesitaban representar información en forma de gradiente de color, elegían mostrar el resto del mapa en gris y blanco para proporcionar una mejor legibilidad. Aquí está el modelo final de la representación "Cantidad de luz en el suelo" (ver Figura 43).

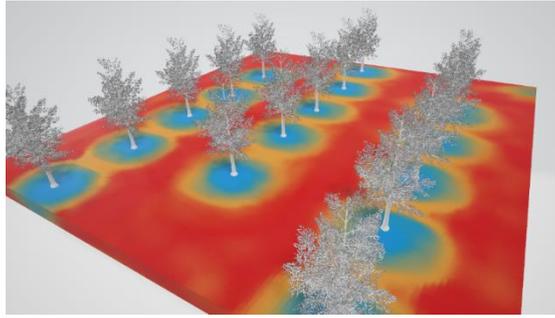


Figura 43 : Visualización final "Cantidad de luz en el suelo"

El paso de las máquinas

El caso del «paso de máquinas» sobre una parcela es más complicado de representar. La primera idea, al seleccionar este tipo de representación, es permitir al agricultor y al asesor agrícola darse cuenta del tamaño que ocupan sus diferentes vehículos agrícolas en su parcela. De hecho, si un tractor golpea un árbol, puede dañar el árbol y el tractor. El árbol también puede enfermarse o perder valor de mercado. El punto central y prioritario en la visualización es poder colocar la máquina agrícola en la parcela.

El usuario también debe poder identificar fácilmente el camino que seguirá su tractor en su futura parcela. Para representar este camino hemos optado por dos tipos de representación, una simple línea continua o una línea de puntos. Para no hacer la representación más pesada, se eligió la representación de puntos. Una representación que recuerda a los caminos de puntos de la aplicación Google Maps, vistos anteriormente en el estado de la técnica (ver Figura 11). En cuanto al color, se eligió el gris. De hecho, el gris es un color neutro y se destacará fácilmente en los degradados (de azul a rojo) de la representación a la luz.

El usuario también debe poder ver rápidamente cualquier colisión en este camino que pueda obstaculizar el tractor. Entonces, se decide hacer avanzar automáticamente el tractor por el camino predefinido. El usuario puede, gracias a un botón de pausa y reproducción, detener el tractor en cualquier lugar.

Sin embargo, sería interesante conocer instantáneamente las posiciones de bloqueo del vehículo, sin esperar a que pase por la zona problemática. Así que, se decide actuar directamente sobre las líneas de puntos que representan el camino mostrándolas en rojo si la zona presenta un problema de colisión. El uso del rojo tiene sentido aquí, siendo el color establecido como símbolo de peligro, alerta u otro problema. Además, en aras de la libertad de uso, se decidió permitir la libre circulación del tractor. Es decir, el usuario podrá deslizar el dedo sobre la pantalla para mover el vehículo libremente a cualquier punto de su recorrido.

Está claro que simplemente modificar el color de las líneas de puntos no es suficiente para representar un punto de bloqueo. Por supuesto, al acercarse a un área problemática, el usuario puede darse cuenta visualmente de que el tractor está tocando ramas, pero a veces esta información puede resultar difícil de ver. Naturalmente, por eso elegimos mostrar el tractor en rojo tan pronto como choca con un obstáculo. Además, para aclarar qué árbol está obstruyendo al tractor, el árbol afectado también se mostrará en rojo en el momento del impacto.

Por último, los agricultores tienen diferentes máquinas y diferentes tamaños. Si un vehículo puede pasar sin chocar contra las hileras de árboles, no necesariamente ocurre lo mismo con un tractor más grande. Por lo tanto, se decidió ofrecer la posibilidad de elegir, a través de la interfaz, entre 3 tamaños posibles de vehículos agrícolas. Luego, el usuario puede seleccionar el tamaño de tractor que desea y las áreas problemáticas en rojo se adaptarán según el modelo elegido.

Aquí está el modelo final de la representación del paso de la máquina (ver Figura 44).

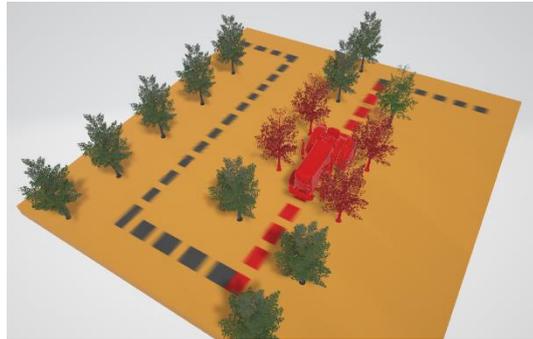


Figura 44 : Visualización final "Pasaje de máquinas"

La repulsión de plagas

La representación de la repulsión de plagas fue más compleja de implementar. De hecho, el radio de acción cambia según el tipo de árboles utilizados y no todos los árboles protegen contra las mismas plagas. Además, este fenómeno 3D varía con el tiempo. Se abordaron varias ideas, visibles en la Figura 45.

Una de las primeras avenidas consideradas fue la cúpula. En efecto, como el efecto de protección se activa en 360° alrededor del árbol, una cúpula que engloba esta zona en su conjunto permite delimitarla claramente. Sin embargo, esta representación parece masiva. Una cúpula semitransparente podría ayudar a evitar sobrecargar visualmente la trama. Pero luego viene la cuestión del grado de transparencia, que haría difícil ver el espacio protegido. El equilibrio que se puede encontrar aquí parece muy sutil.

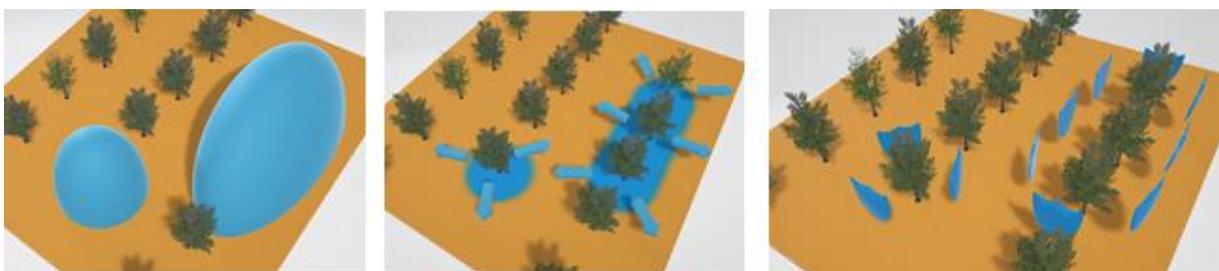


Figura 45 : 3 ideas diferentes para "Repulsión de plagas"

Otra idea es el uso de flechas para indicar un efecto de movimiento y por tanto de repulsión. Desgraciadamente, el problema de las flechas es que delimitan con mucha menos claridad el espacio protegido. Para compensar esta mala delimitación, primero decidimos colorear el área protegida en el terreno. Gracias a este añadido el espacio protegido queda mucho mejor definido. Sin embargo, dado que la zona es azul (ver Figura 45), es posible que el usuario se confunda con los fenómenos relacionados con el agua. Una solución puede ser entonces cambiar el color del área en el suelo y las flechas a gris (como

en el caso de las líneas de puntos). Además, las flechas sobre todo dan sensación de movimiento.

Una mejor idea es utilizar un símbolo de protección comúnmente utilizado en los videojuegos: un escudo. Estos marcan un área más claramente que las flechas. Para limitar aún más la pérdida de información visual debida a la presencia de escudos relativamente imponentes, se decidió ponerlos en movimiento y rotarlos alrededor del área protegida. Sin embargo, la delimitación de la zona aún no es lo suficientemente precisa. Como anteriormente se excluía el espacio del suelo, elegimos un elemento 3D para rodear el área. Se coloca pues una pequeña pared gris. No satura el terreno con información, es claramente visible (porque en 3D) y separa mejor el área.

Aquí está el modelo final después de la reflexión (ver Figura 46).



Figura 46 : Visualización final "Repulsión de plagas"

El paso de las máquinas + La cantidad de luz en el suelo

Esta combinación utiliza por tanto los dos tipos de representación de las visualizaciones anteriores.

La primera visualización ("cantidad de luz en el suelo") se limitó a un plano 2D, lo que deja el campo abierto a otros tipos de representación como la del paso de las máquinas. Este último está esencialmente en 3D y por tanto combina bien con la visualización 1.

Sin embargo, sigue existiendo un defecto : las líneas de puntos rojas (zona problemática para el tractor) pueden fusionarse con el fondo rojo (zona que recibe una gran cantidad de luz).

El paso de las máquinas + La repulsión de plagas

Esta combinación muestra, por tanto, los escudos que giran alrededor de dos zonas, los muros bajos en el suelo, un tractor que se mueve sobre la parcela y las líneas de puntos en el suelo. Tenga en cuenta también que las líneas de puntos y los árboles pueden cambiar de color y volverse rojos.

Esta combinación es relativamente complicada, pero en teoría debería plantear pocos problemas de legibilidad a los usuarios. El único problema es que es posible que el tractor atraviese escudos y paredes durante su paso. Asimismo, las líneas de puntos podrían quedar parcialmente ocultas por estos muros.

La cantidad de luz en el suelo + La repulsión de plagas

Precisamente teniendo en cuenta esta combinación, se abandonó la zona del suelo (azul o gris) que representaba la repulsión de las plagas. Al tener únicamente muros bajos en el

suelo, y de un color diferente al degradado del azul al rojo, esta combinación no debería suponer un problema para los usuarios y debería ser perfectamente utilizable.

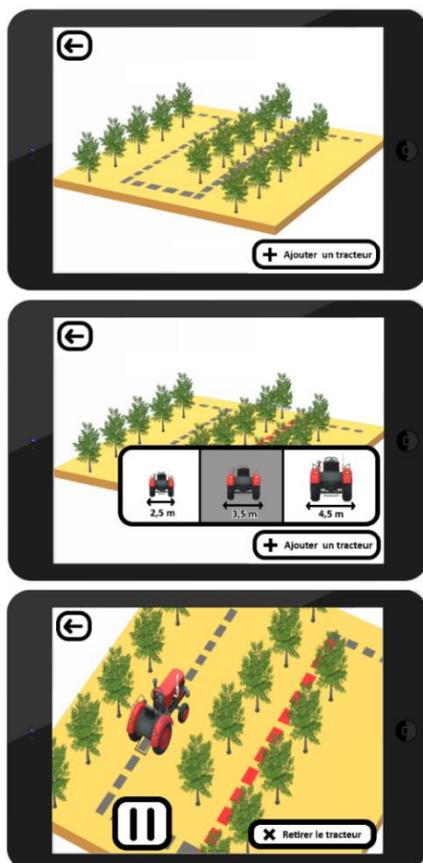
La cantidad de luz en el suelo + La repulsión de plagas + El paso de las máquinas

Esta última combinación incluye todas las visualizaciones. Todos los problemas potenciales destacados para las combinaciones anteriores se encuentran aquí.

Diseño de interfaz

Después de imaginar los diferentes modelos, tuvimos que crear en las interfaces de usuario. El objetivo era que fueran lo más simples, intuitivos y satisficieran las necesidades de los agricultores y asesores agrícolas. Este es especialmente el caso de la interfaz de "paso de máquina". De hecho, esta representación ofrece muchas posibilidades de interacción a los usuarios, lo que no es el caso de las otras dos representaciones. En esta etapa del proyecto, las representaciones "cantidad de luz en el suelo" y "repelencia de plagas" no ofrecen ninguna interacción para el usuario. Por tanto, nos centraremos en la interfaz asociada al paso de los tractores.

La elección de la interfaz se inspiró en parte en el trabajo de investigación de Kandil (ver Figura 8), visto anteriormente en el estado del arte. Esta interfaz tiene un botón claro ubicado en la parte inferior derecha de la pantalla, en la base del pulgar. Este botón le permite agregar un mueble a la escena. Se decidió utilizar este principio del botón Agregar, que permitirá en nuestro caso agregar un tractor a nuestra parcela.



El botón Atrás suele estar situado en una esquina superior, normalmente a la izquierda. Esto ha sido confirmado por el estado del arte y, por lo tanto, adoptado para nuestra interfaz.

El botón de reproducción/pausa a menudo se compara con la reproducción de música o contenido de vídeo. En las aplicaciones que retransmiten este contenido siempre se sitúa en la parte inferior de la pantalla, en el centro o a la izquierda. Esta convención de uso será respetada para nuestra interfaz. En nuestro caso, estará más bien desplazado hacia la izquierda para no estar demasiado cerca del botón para agregar un tractor.

Luego, la ventana de selección del tamaño del tractor, que ocupa espacio, estará oculta de forma predeterminada y se mostrará solo cuando se presione el botón "agregar un tractor".

Para que sean lo más significativos y visibles posible, las imágenes del tractor en diferentes tamaños representarán los botones. El tractor se coloca de perfil para ver su ancho y mostrar su valor debajo.

Figura 47 : Interfaz diseñada para visualización "Pasaje de máquinas"

Cuando se agrega un tractor, el botón agregar cambia a "eliminar tractor". De esta manera, no es necesario crear un botón de eliminación dedicado y cargar la representación. La interfaz en la parte inferior derecha de la pantalla permite agregar, seleccionar el tamaño y eliminar tractores.

Aquí está el resultado final en la Figura 47. Las otras 2 interfaces solo incluyen el botón Atrás en la parte superior izquierda.

Integración

La fase de integración en Unity se llevó a cabo en 3 partes. La primera parte consistió en desarrollar las soluciones retenidas en la fase de análisis. Luego, los comentarios iniciales de los usuarios permitieron identificar los primeros problemas. La segunda fase de desarrollo resultó en una herramienta más avanzada.

Desarrollo en Unity

Durante la fase de definición de la solución, la visualización que representa el paso de las máquinas se consideró, gracias a las encuestas realizadas antes mis practicas, la herramienta más importante para los agricultores y asesores agrícolas. Es por eso que esta solución se finalizó primero. Así, el inicio de su desarrollo podría encomendarse a Gabriel Masson, quien como se explicó anteriormente, entre estas misiones, estaba en apoyo al desarrollo. Entonces, aquí utilizamos GitHub, una plataforma en la que pude trabajar con él y compartir todos los requisitos del usuario para que pudiera desarrollar la primera visualización tal como fue diseñada. Aquí teníamos que comunicarnos efectivamente como parte de este trabajo en equipo. Compartí con Gabriel una descripción completa de la necesidad, apoyada en los modelos creados para la representación y la interfaz. Transcribí estas necesidades en una lista de tareas a realizar para Gabriel, especificando en particular el orden de prioridad de estas tareas. Durante esta fase de desarrollo, vino periódicamente a informarme sobre su progreso. Luego pude actualizar estas misiones de desarrollo de acuerdo con su progreso y responder a todas sus preguntas.

Después de finalizar los modelos de las otras dos visualizaciones, pude comenzar la fase de desarrollo de la representación "cantidad de luz en el suelo", mientras Gabriel continuaba su trabajo sobre el "paso de las máquinas". En aras de la eficiencia, el ahorro de tiempo y la coherencia entre visualizaciones, obtuve una primera versión de la visualización "Pasaje de máquinas" a través de GitHub. Esto sirvió como punto de partida para desarrollar las siguientes visualizaciones.

Para las 3 visualizaciones, al abrir la aplicación, el usuario ve la respuesta en pantalla de la cámara del teléfono o la tableta. El objetivo es posicionar sobre una superficie plana del espacio real, un modelo 3D correspondiente a las parcelas diseñadas. Para este primer paso, el de colocar la trama, opté por mantener el método utilizado por Gabriel. En este método, el programa detecta superficies planas utilizando «AR Foundation Framework». Cuando se identifica una superficie plana, aparece un cursor en la posición donde el vector (proyectado desde el centro de la cámara) toca la superficie. En la parte inferior del control deslizante, aparece el botón "Crear parcela". Al hacer clic en él, se crea una instancia de la parcela donde apunta el cursor (ver Figura 48).



Figura 48 : Imagen de la aplicación antes de crear la parcela

Primera fase de integración : Cantidad de luz

En el programa existente, el botón "Crear parcela" muestra el prefab ingresada en el inspector de Unity.

Así que creé mi propia prefab, que corresponderá a la parcela "cantidad de luz". Entonces, recuperé el modelo de árbol 3D utilizado en la parcela del "paso de la máquina". Sin embargo, los árboles eran demasiado grandes y insuficientes en número. Así que los dupliqué y cambié de tamaño. Para cumplir con los requisitos, simplemente modifiqué su color a través del componente material de la columna "inspector".

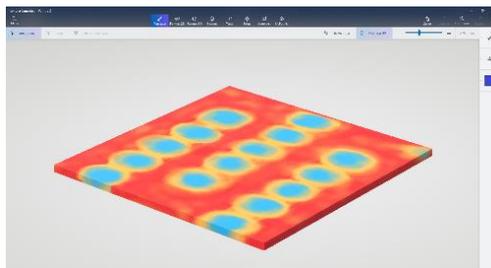


Figura 49 : Degradado de color creado en Paint 3D

La mayor parte del trabajo para esta visualización reside en la textura del suelo, que debe ser un degradado de azul a rojo dependiendo de la cantidad de luz . Este degradado se creó en Paint 3D (ver Figura 49). Para la fase de reflexión y modelado ya se había diseñado este gradiente. Tomé mi trabajo realizado anteriormente y lo mejoré para que se ajustara al modelo real (ver Figura 50). Luego creé un nuevo material en Unity, con la textura del degradado de color.

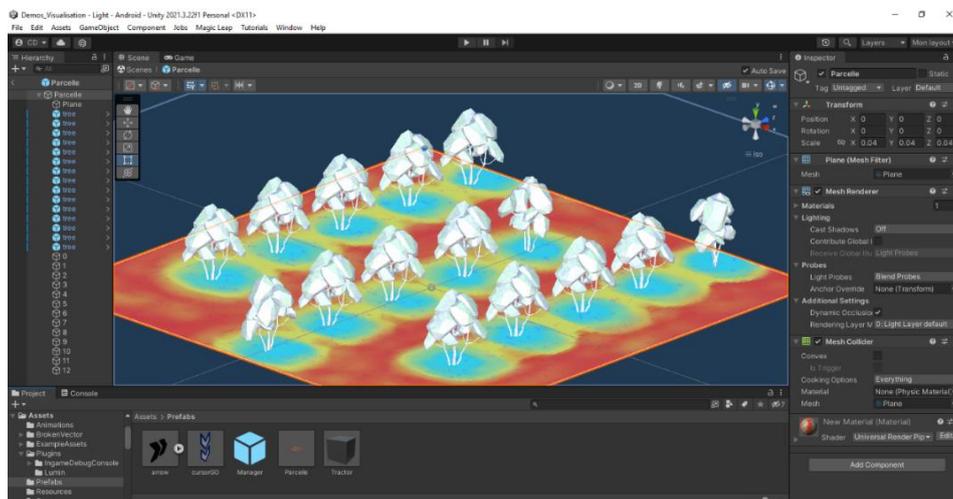


Figura 50 : El proyecto Unity durante la creación de la parcela "Cantidad de luz"

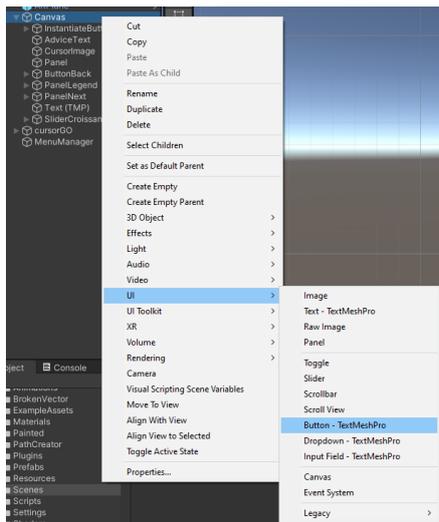


Figura 51 : Ubicación de los "botones" en Unity

Entonces, la parte de la interfaz aquí es bastante ligera y básica. Como se explicó anteriormente, consta de un botón de retroceso colocado en la parte superior izquierda. Para crear este botón Atrás, creé un elemento «canvas» en la jerarquía (a la izquierda). En Unity, es en canvas donde se colocan todos los elementos de la UI (interfaz de usuario), como los botones (ver Figura 51).

En estas primeras fases de desarrollo no me centré en la parte estética. Es por esto que el botón de retroceso elegido y visible en la Figura 52 tiene un diseño rudimentario.

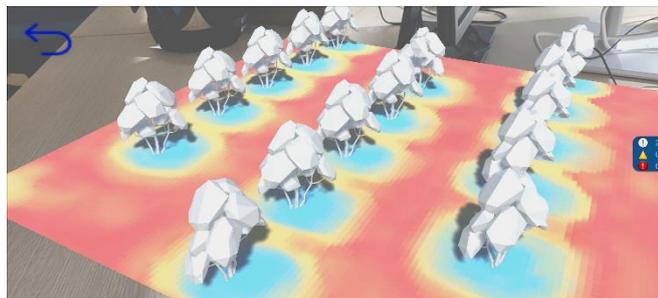


Figura 52 : Primera versión de la parcela "Cantidad de luz" en realidad aumentada.

Primera fase de integración : Repulsión de plagas

La segunda visualización en la que trabajé es la de “repulsión de plagas”. En continuidad con el trabajo realizado, creé una segunda escena idéntica a la que acababa de realizar para la representación "luz en el suelo". Así que dupliqué la escena de la “cantidad de luz en el suelo” para que sirviera de base para la escena de la “repulsión de plagas”. Como antes, creé una nueva prefab para el suelo, basada en la anterior. Quité la textura del suelo y la reemplacé con un color neutro amarillo/beige. Descargué un « asset » (titulado "Escudos 3D Low-Poly") de la tienda de Unity, que servirá como modelo de escudo. También descargué un asset (titulado “Bézier Path Creator”) que contiene varios scripts que te permiten diseñar caminos 3D, que se utilizarán para la animación de los escudos.

Para hacer la animación, primero tuve que crear un gameObject vacío. Le asigné el script "Path Creator" (incluido en el asset descargado anteriormente). Este script le permite crear visualmente un camino en el espacio (ver Figura 53). Una vez que el camino corresponde a lo imaginado, queda indicar al programa que los escudos sigan este camino. Para ello escribí un script para guiar todos los escudos. Luego asigné este script a cada escudo de mi escena a través de la interfaz "inspector".

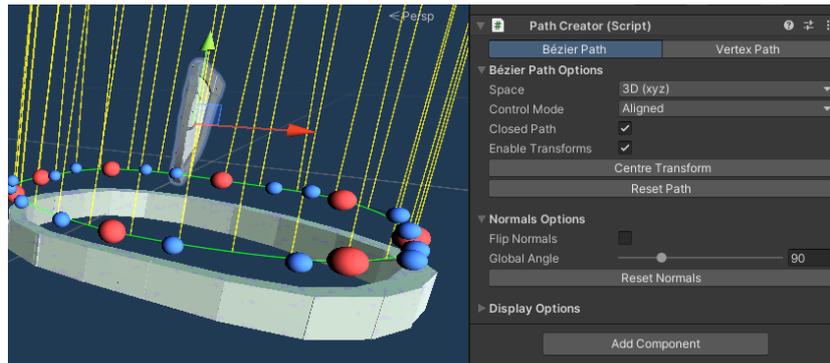


Figura 53 : Creación del camino de los escudos en Unity

En mi script, para usar mi herramienta de creación de rutas, primero agrego la línea "using PathCreation" que llama a la biblioteca del mismo nombre. Luego, definí una variable **pathCreator** de tipo **Pathcreator** y dos variables, **speed** y **distanceTravelled**. Estos dos últimos me permitirán ajustar la velocidad de movimiento de los escudos alrededor de las zonas de repulsión así como el espacio entre cada escudo. En la ventana del inspector de Unity, arrastré y solté el gameObject que contiene el script Pathcreator en la ubicación pública de mi variable pathCreator. Así, mi objeto sabe que el camino a seguir es el que tracé anteriormente.

En el método de actualización que se llama todos los fotogramas, inserto varias condiciones que permiten actualizar las posiciones de los escudos en función del atributo "tag". Este atributo se configuró a través de la interfaz de Unity. En la primera condición, la posición y rotación del escudo se modifican usando pathCreator a través de las siguientes líneas de código (ver Figura 54).

Para la segunda condición, reelaboré el código agregando un flotador constante en la distancia recorrida para compensar el segundo escudo del primero.

```

public PathCreator pathCreator;
public float speed = 1.0f;
public float distanceTravelled;

// Update is called once per frame
void Update()
{
    if(tag == "Shield1")
    {
        distanceTravelled += speed * Time.deltaTime;
        transform.position = pathCreator.path.GetPointAtDistance(distanceTravelled);
        transform.rotation = pathCreator.path.GetRotationAtDistance(distanceTravelled);
    }

    if(tag == "Shield2")
    {
        distanceTravelled += speed * Time.deltaTime;
        transform.position = pathCreator.path.GetPointAtDistance(distanceTravelled + 1.6f);
        transform.rotation = pathCreator.path.GetRotationAtDistance(distanceTravelled + 1.6f);
    }

    if(tag == "Shield3")

```

Figura 54 : Extracto del script que gestiona el movimiento de escudos

Para determinar esta constante realicé varias pruebas. Durante esta fase de ajuste, cambié el color de los escudos para poder diferenciarlos una vez en movimiento (ver Figura 55). Así que pude ajustar y seleccionar sus tamaños, velocidades, espacios y números para que coincidieran lo más posible con lo que había imaginado.

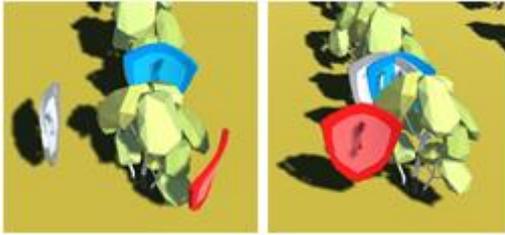


Figura 55 : Escudos en azul, blanco y rojo para ayudar al desarrollo

Después de haber completado con éxito este trabajo para una zona, fue necesario reproducir exactamente el mismo trabajo para la segunda zona de repulsión.

La última tarea para finalizar esta visualización fue la más sencilla : añadir los muros que rodean las zonas de repulsión. Para ello, dispuse las diferentes piezas de la pared a mano, ciñéndome al trazado previamente definido. El resultado final corresponde a la Figura 56.



Figura 56 : Primera versión de la visualización "Repelente de plagas" en realidad aumentada

Primera fase de integración : menú

El desarrollo de esta segunda visualización fue una oportunidad para trabajar en un “menú” para navegar entre visualizaciones una vez que se lanzó la aplicación (ver Figura 57).



Figura 57 : Evolución del aspecto del menú durante el desarrollo

Este menú era temporal. Su principal interés era facilitar el desarrollo. Recibió algunos ajustes visuales durante el desarrollo de la visualización "Repulsión de plagas", lo que le permitió ser más fácil de usar antes del lanzamiento final. Esta también fue una oportunidad para cambiar el diseño de los botones de retroceso de las dos visualizaciones.

El funcionamiento inicial del menú de estado es muy sencillo. Al presionar la tecla para una visualización, el botón invoca un método previamente ingresado a través del inspector. Este método “**ChangeScene**” está escrito en un script **MenuManager** (ver Figura 58) y se utiliza para cargar la escena deseada, en este caso la de la visita ingresada en el botón. El botón Salir utiliza el método « **Quit** » para cerrar la aplicación.

```

using System.Collections;
using System.Collections.Generic;
using UnityEngine;
using UnityEngine.SceneManagement;

public class MenuManager : MonoBehaviour
{
    // Start is called before the first frame update
    void Start()
    {
        Screen.orientation = ScreenOrientation.LandscapeLeft;
    }

    public void ChangeScene(string _sceneName)
    {
        SceneManager.LoadScene(_sceneName);
    }

    public void Quit()
    {
        Application.Quit();
    }
}

```

Figura 58 : Extracto del script que gestiona el menú

Primera fase de integración : combinaciones

Después de haber completado las visualizaciones "Cantidad de luz en el suelo", "Repulsión de plagas" y el menú, pude recuperar la visualización sobre el "Pasaje de máquinas" completada por Gabriel en GitHub y comenzar la fase de desarrollo de las combinaciones. Para cada visualización y combinación, creé una escena diferente. El menú le permite navegar entre estas escenas. Dependiendo de la escena seccionada, el prefab que el programa debe instanciar cambia. Para lograr la combinación "cantidad de luz" + "repulsión de plagas" (ver Figura 59), utilicé el prefab para repulsión de plagas con la textura que ya había sido diseñada para visualización en luz.

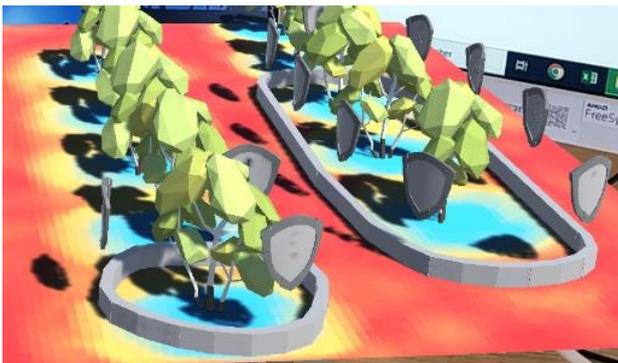


Figura 59 : Primera versión de la combinación "Cantidad de luz en el suelo" y "Repelencia de plagas" en realidad aumentada

Posteriormente, aplico la misma lógica para la asociación "cantidad de luz" y "paso de máquinas". Copio el prefab del "paso de máquinas" y cambio la textura del suelo (ver Figura 60). Sin embargo, esta vez, los árboles de la visualización desarrollados por Gabriel no son del mismo tamaño ni están organizados de la misma manera. Por lo tanto tuve que diseñar una nueva textura, especialmente para esta combinación (ver Figura 61).

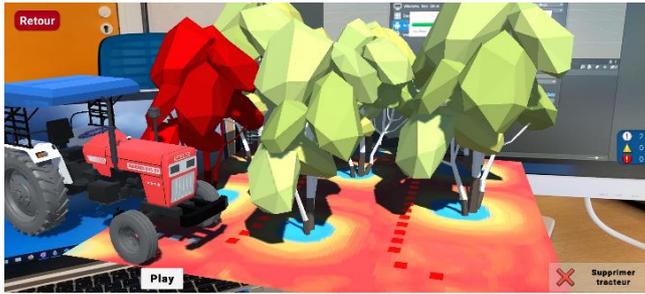


Figura 60 : Primera versión de la combinación "Cantidad de luz en el suelo" y "Pasaje de máquinas" en realidad aumentada

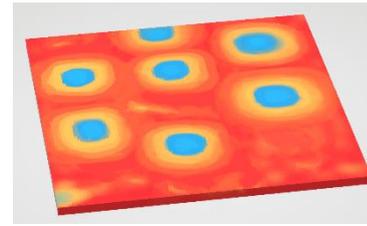


Figura 61 : Nueva textura realizada en Paint 3D

En esta etapa del desarrollo, incluso antes de pasar a las siguientes visualizaciones, son necesarias modificaciones. Primero, la visualización de “cantidad de luz” no tiene leyenda en su interfaz. Sería interesante añadir uno para darle más precisión a la representación que tendrá el usuario. En segundo lugar, es un problema el hecho de que el terreno del “paso de máquinas” tenga árboles extremadamente grandes y dispuestos de forma diferente. De hecho, es necesario garantizar la coherencia general entre las visualizaciones. Además, para poder probar nuestras opciones de representación, la trama inicial debe ser idéntica para todos, para no influir en los usuarios.

Para el resto del desarrollo, decidí crear el prefab reuniendo las 3 visualizaciones. Luego, pude retirar los elementos necesarios para obtener los prefab correspondientes a las demás combinaciones.

Por lo tanto, hago una copia de la escena gestionando el paso del tractor, y utilizando los scripts ya creados, ya sea para gestionar el tractor y sus colisiones, pero también los de los escudos. Al final obtengo la visualización que se ve en la Figura 62.

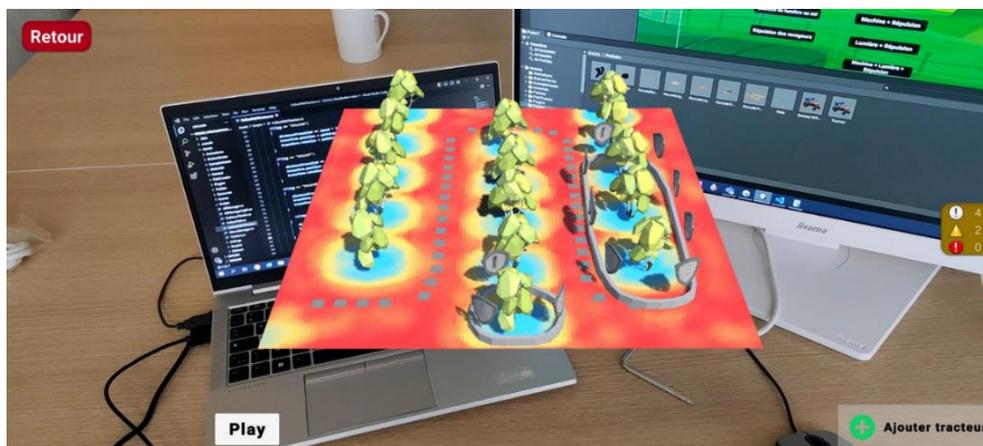


Figura 62 : Primera versión en realidad aumentada de la combinación de las 3 visualizaciones

Respecto a la visualización de “cantidad de luz”, agrego una leyenda, cuyo diseño no es definitivo (ver Figura 63). Aprovecho esta oportunidad para mejorar la textura del suelo y aumentar su nitidez y transiciones (ver Figura 64).

Esta modificación de la textura del terreno también permitió desplazar deliberadamente la avenida central de árboles hacia la derecha. El objetivo es ofrecer dos pasillos de árboles de diferentes tamaños para el tractor y así observar diferentes comportamientos.

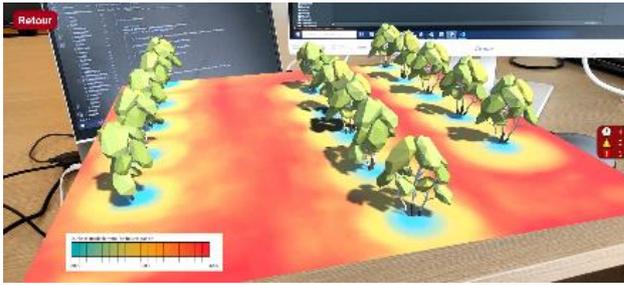


Figura 64 : Nueva textura aplicada a la parcela, con una primera leyenda

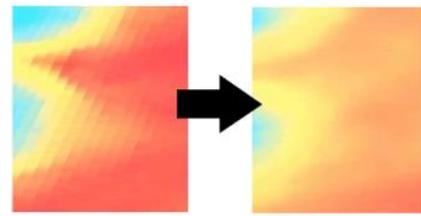


Figura 63 : Editando la textura

También me gustaría recordaros aquí que la representación que se ha realizado tiene una finalidad demostrativa y está inspirada en representaciones reales. De hecho, no tengo datos para representar mediante cálculos la cantidad real de luz en el suelo durante el año.

Este nuevo diseño de pasillo se aplicó posteriormente a la visualización de "Repulsión de plagas".

El siguiente paso fue pintar de blanco cada árbol presente en los modelos que contienen la representación "Repulsión de plagas". También era necesario hacer más legible la leyenda y realizar las últimas combinaciones como "repulsión de plagas" + "paso de máquinas". Al final aquí tenéis diferentes imágenes de la aplicación al final de esta primera fase de desarrollo (ver Figura 65).

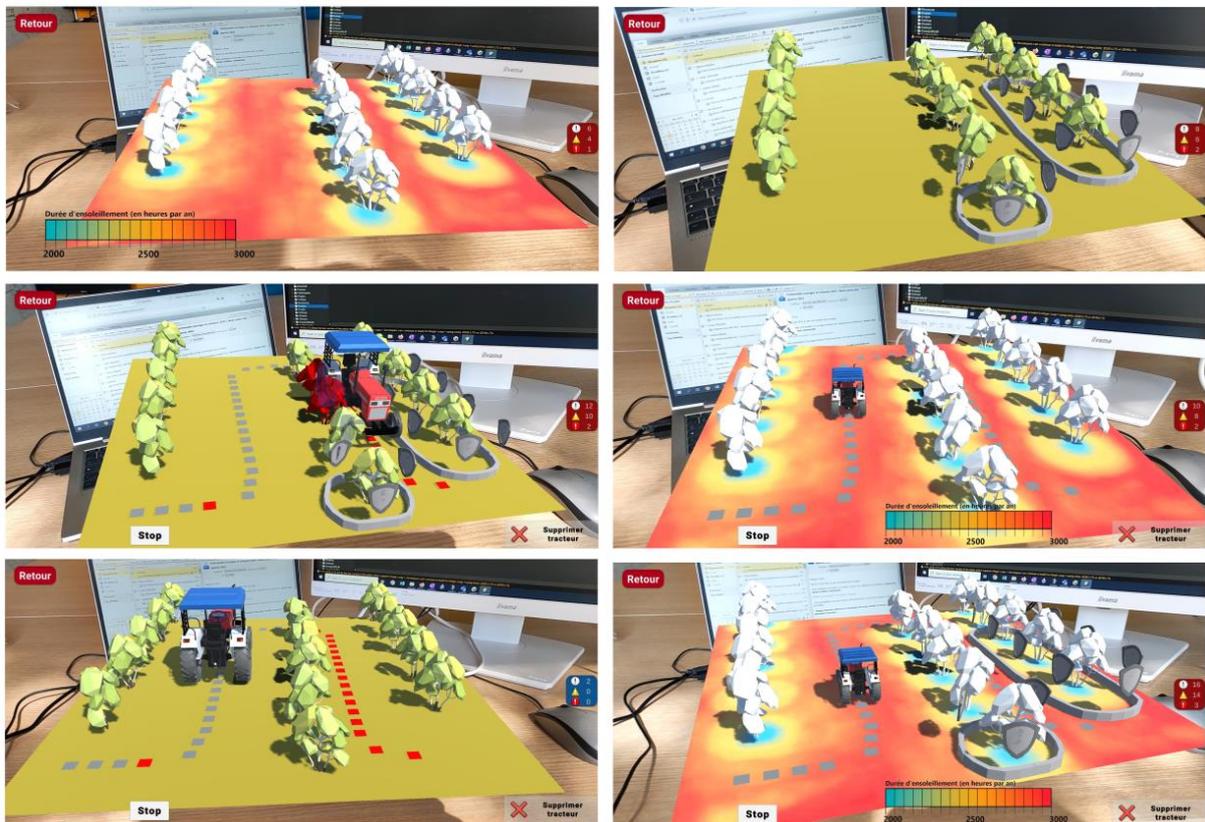


Figura 65 : Estados de diferentes visualizaciones despues de esta primera fase de desarrollo

Primeras pruebas

Una vez completada esta primera fase de desarrollo, pudimos hacer que nuestras visualizaciones fueran probadas por 3 personas diferentes en el laboratorio. El objetivo aquí era doble. En primer lugar, fue la oportunidad de probar los cuestionarios completados por primera vez. Había que comprobar el tiempo que se tardaba en completarlas y si estaban redactadas correctamente y eran claras. En segundo lugar, nos permitió identificar áreas de mejora.

En cuanto al tiempo de prueba, se estimó en 30 min. Incluye las fases de manipulación con tableta y teléfono, así como las fases para responder preguntas.

En cuanto a los puntos de mejora, tras el análisis de los comentarios realizados, las respuestas a las preguntas y los problemas encontrados, estos son los cambios necesarios :

- Es necesario añadir una herramienta mecánica, a bordo, detrás del tractor,
- Ya no es el tamaño del tractor lo que el usuario debe modificar, sino el tamaño de la herramienta que lleva detrás.
- Añadir una opción a todas las visualizaciones, lo que le permitirá controlar el crecimiento de los árboles en la parcela,
- Modificar el tamaño de las zonas de protección según el tamaño de los árboles,
- Modificar la textura "cantidad de luz" según el tamaño de los árboles,
- Añadir botones de "siguiente" para que el usuario se guíe y continúe las visualizaciones una por una,
- Mejorar la estética general, incluida la leyenda "cantidad de luz".

Entre esta lista, las tareas prioritarias fueron cambiar el tamaño de la herramienta y reestructurar el menú.

Segunda fase de desarrollo

Por lo tanto, durante esta segunda fase de desarrollo, la primera tarea fue añadir un implemento detrás del tractor. Para ello, descargué un nuevo modelo de tractor de la tienda de Unity que ya estaba formado por dos partes principales : el trazador y su herramienta agrícola (ver Figura 66).

Por lo tanto, reemplacé el prefab del tractor, que normalmente estaba instanciada por una casa prefabricada nueva, con este nuevo tractor como modelo. Sin embargo, en este punto, toda el prefab cambia de tamaño, no sólo la herramienta.

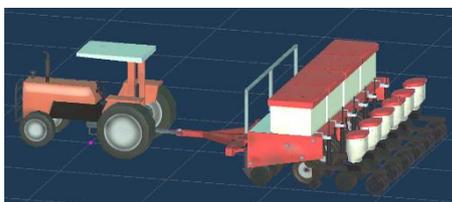


Figura 66 : Diseño del nuevo modelo de tractor elegido

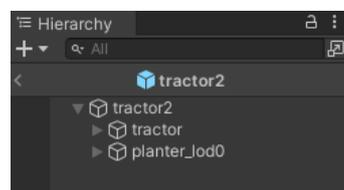


Figura 67: Nuevo tractor en la "hierarchy" Unity

Para cambiar esto es necesario realizar un cambio en el método **SpawnTractor** que gestiona la apariencia del tractor y, por tanto, también su tamaño.

La línea que nos interesa en particular es la línea enmarcada en rojo en la Figura 68. Originalmente era en el conjunto **_newtractor** donde cambiamos el tamaño con la variable **SizeMulti**. Sin embargo, el elemento que deseamos modificar es solo el segundo hijo del

prefab tractor, como podemos ver en la Figura 67. Para modificar solo el tamaño de la herramienta, agregamos **GetChild(1)**. Los hijos de un **GameObject** se numeran comenzando por cero. Entonces, **GetChild(1)** accede al segundo hijo, el que nos interesa.

```

public void SpawnTractor()
{
    _sliderCroissance.SetActive(true);
    _play.SetActive(true);
    var button = GameObject.Find("AddTractor");

    button.GetComponent<Image>().sprite = Resources.Load<Sprite>("close-red");
    button.GetComponentInChildren<TextMeshProUGUI>().text = "Supprimer tracteur";

    SizeMulti = float.Parse(EventSystem.current.currentSelectedGameObject.name, CultureInfo.InvariantCulture);

    _newtractor = Instantiate(_tractorPrefab, _newParcelle.transform);
    _newtractor.transform.position = _anglesTractor[0].transform.position;
    _newtractor.transform.rotation = _anglesTractor[0].transform.rotation;
    _newtractor.transform.GetChild(1).transform.localScale *= SizeMulti;

    _sizePanel.SetActive(false);
    StartTractorInit();
}

```

Figura 68 : Extracto del script que gestiona la apariencia del tractor

Posteriormente también tuve que actualizar la interfaz en consecuencia. La Figura 69 ilustra tanto su primera versión como la última.



Figura 69 : Evolución del diseño de los botones "añadir tractor"

Cambios en el menú

El segundo cambio a realizar fueron los botones « visualización siguiente » a agregar. El objetivo es que el usuario, durante la prueba, sea lo más independiente posible. Una primera página de la aplicación debería recordarle el desarrollo de la prueba. Además, después de cada visualización, otra página debe recordar a los participantes que respondan el cuestionario correspondiente antes de pasar a la siguiente demostración.



Figura 70 : Las 3 nuevas ventanas creadas en esta segunda fase de desarrollo

Por tanto, la figura 70 representa las 3 ventanas creadas para esta ocasión. Entonces también fue necesario modificar el script **MenuManager**. Para esto creé dos nuevos métodos : **LoadNextScene** y **LoadPreviousScene**. Estos dos métodos utilizan la variable **nextSceneIndex** que en cualquier momento nos permite saber en qué visualización se encuentra el usuario. Cada vez que se llama al método, la variable se incrementa. Cada visualización, y por tanto escena, ha sido renombrada previamente de la siguiente manera:

Visu1, Visu2, etc. Así, gracias a la línea **SceneManager.LoadScene("Visu" + nextSceneIndex)**, se carga la visualización correcta.

En cada ventana de visualización, se ha colocado un botón "Responder preguntas" en la parte superior derecha. Al presionar este botón, el método **ChangeScene** lo lleva a la ventana que le recuerda que debe responder las preguntas.

```
public static int nextSceneIndex = 0; // Index de la prochaine scène à charger après "Questions"
public void LoadNextScene()
{
    Tractors.TractorInitialisation = false;
    Tractors2.TractorInitialisation = false;
    nextSceneIndex++;
    SceneManager.LoadScene("Visu" + nextSceneIndex);
}

public void LoadPreviousScene()
{
    Tractors.TractorInitialisation = false;
    Tractors2.TractorInitialisation = false;
    nextSceneIndex--;
    SceneManager.LoadScene("Visu" + nextSceneIndex);
}
```

Figura 71 : Extracto del script gestionando las escenas

En esta misma ventana, el botón "ir a la siguiente demostración" está asociado al método **LoadNextScene**. Finalmente, en cada visualización, el botón "regresar" en la parte superior izquierda está asociado con el método **LoadPreviousScene** (ver Figura 71).

Cursor crecimiento de los árboles

El siguiente objetivo es añadir un cursor para modificar el tamaño de los árboles en las diferentes visualizaciones. El caso es que Gabriel, durante sus distintos trabajos, tuvo que hacer este cursor para modificar el tamaño de los árboles. El contexto fue ligeramente diferente para su trabajo, ya que los árboles fueron proyectados en realidad aumentada a tamaño natural, al aire libre. Pero el principio para modificar el tamaño de los árboles sigue siendo el mismo. Por eso se le encomendó la siguiente tarea: implementar esta funcionalidad en la visualización del "paso de las máquinas". Una vez que Gabriel hizo este trabajo, adapté y rechacé esta función a todas las visualizaciones. En cuanto a la visualización del "paso de las máquinas", no hay ningún impacto visual en la representación, salvo, por supuesto, el tamaño de los propios árboles. Pero actuar sobre el crecimiento de los árboles influye en la cantidad de luz que percibe el suelo así como en el área de efecto de la repulsión de plagas. En efecto, en cuanto a la zona de repulsión, su diámetro debe variar de tamaño proporcionalmente a los de los árboles. La cantidad de luz en el suelo disminuye cuanto más altos son los árboles.

Efectos sobre la luz del suelo

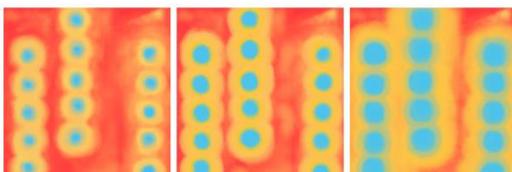


Figura 72 : Nuevas texturas para "Cantidad de luz en el suelo"

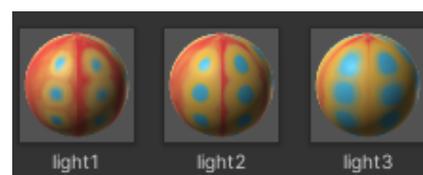


Figura 73 : Los 3 nuevos materiales creados para la "Cantidad de luz en el suelo"

Entonces, comencemos explicando los cambios en la cantidad de luz en el suelo. Primero, creé dos texturas nuevas para tener un total de 3 niveles diferentes de cantidad de luz en el suelo (ver Figura 72). De hecho, la funcionalidad de “crecimiento de árboles” implementada permite alternar entre 3 tamaños de árboles posibles. Luego, en Unity creé nuevos materiales en blanco a los que asigné estas nuevas texturas (ver Figura 73). Estos materiales ahora se pueden asociar con diferentes gameObject en mi escena (en este caso, el suelo) y modificar su representación como desee.

```

_trees = GameObject.FindGameObjectsWithTag("tree").ToList();
_treeRender = new MeshRenderer[_trees.Count];
for (int i = 0; i < _trees.Count; i++)
    _treeRender[i] = _trees[i].GetComponent<MeshRenderer>();

var slider = GameObject.Find("SliderCroissance").GetComponent<Slider>();

_coefCroissance = (int)slider.value == 0 ? 0.3f : (int)slider.value == 1 ? 0.4f : 0.5f;
var scale = slider.value == 0 ? 0.3f : _coefCroissance;

```

Figura 74 : Extracto del código que gestiona el control deslizante de crecimiento

Luego, para modificar la representación del terreno según el cursor, debe realizar cambios en el script que codifica este cursor (ver Figura 74). Este script, **SliderManager**, asociado directamente con el prefab de la parcela, controla el tamaño de los árboles de la siguiente manera. El código recorre la lista de los gamObject “árboles” y ajusta su escala local a un nuevo « **Vector3 (scale,scale,scale)** » (ver Figura 75). La variable **scale** determina qué tamaño se aplicará a los objetos según la posición del cursor, con un valor base de 0,3 si el cursor está en la posición 0. El código actualiza la variable **_coefCroissance** según el valor del cursor. El código finalmente usa **ChangeSize**, que actualiza el tamaño de los árboles progresivamente durante un intervalo de tiempo elegido (aquí 2 segundos).

```

foreach (var tree in _trees)
{
    tree.transform.localScale = new Vector3(scale, scale, scale);
}

slider.onValueChanged.AddListener((value) =>
{
    _coefCroissance = (int)value == 0 ? 0.3f : (int)value == 1 ? 0.4f : 0.5f;
    var taille = value == 0 ? 0.3f : _coefCroissance;
    StopAllCoroutines();
    foreach (var tree in _trees)
    {
        StartCoroutine(ChangeTaille(tree, taille));
    }
});

1 reference
IEnumerator ChangeTaille(GameObject go, float scale){
    float desriedTime = 2f;
    float actualTime = 0f;

    while(desriedTime > actualTime){

        go.transform.localScale = Vector3.Lerp(go.transform.localScale, new Vector3(scale, scale, scale), actualTime/desriedTime);
        actualTime += Time.deltaTime;

        yield return null;
    }
}

```

Figura 75 : Extracto del código que gestiona el cambio de tamaño de los árboles

Para cambiar la textura del suelo, primero tuve que acceder al componente **Renderer** de la parcela. Para esto defino una variable de tipo **Renderer** llamada **_parcelleRender**. También creo una variable **_parcelle** de tipo **GameOject**. Asocio a esta variable el GameOject cuya textura quiero modificar gracias a “**FindGameObjectWithTag**”. Ya había usado esta técnica de etiquetado para diferenciar fácilmente los escudos en la parte “repulsión de plagas”. Luego

recupero el componente `Render` a través de `.GetComponent<Renderer>`, que asigno a mi variable `_parcelleRender`.

También definí 3 variables públicas de tipo `Material` (ver Figura 76). Entonces puedo arrastrar y soltar en la ventana del Inspector de Unity mis 3 materiales para asociarlos con estas 3 variables. Para cambiar la textura del suelo, primero tuve que acceder al componente

```
public Material materialLight1;
public Material materialLight2;
public Material materialLight3;

private GameObject _parcelle;
private Renderer _parcelleRender;

_parcelle = GameObject.FindGameObjectWithTag("parcelle");
_parcelleRender = _parcelle.GetComponent<Renderer>();

private void Update()
{
    if (_coefCroissance == 0.3f){
        _parcelleRender.material = materialLight1;
    }
    if (_coefCroissance == 0.4f){
        _parcelleRender.material = materialLight2;
    }
    if (_coefCroissance == 0.5f){
        _parcelleRender.material = materialLight3;
    }
}
```

Figura 76 : Cambios de código para cambiar la textura del suelo

Luego, en el método `Update`, creo tres condiciones `if`, donde observo cada vez cuál es el valor de `_coefCroissance` (ver Figura 76). Dependiendo de su valor, modifico el material de `_parcelleRender` con la textura correcta (ver Figura 77).

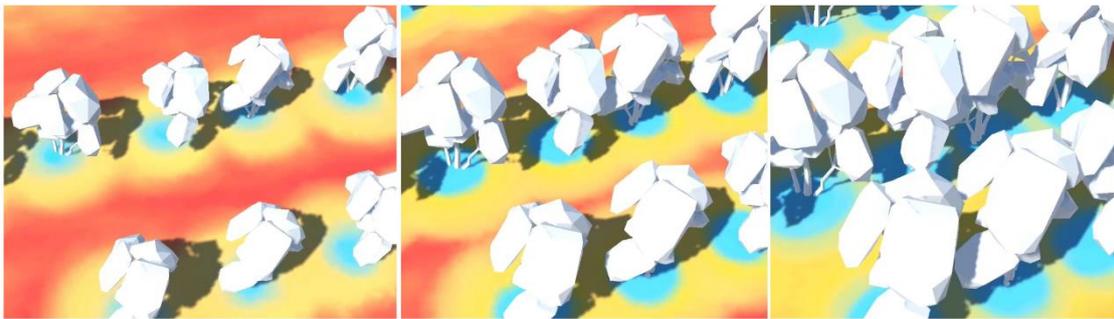


Figura 77 : Representación final de los 3 tamaños de árboles y 3 texturas de suelo diferentes

Consecuencias sobre la repulsión de plagas

Cambiar el tamaño de los árboles tiene consecuencias más difíciles de implementar. En efecto, los muros bajos en el suelo y los escudos deben cambiar en número y en posición según la posición del cursor. Primero se debe modificar el prefab de la parcela. De hecho, es sobre este donde coloqué las paredes y los escudos. Por lo tanto, recuperé el trabajo realizado anteriormente y creé 3 nuevos prefab que contienen exclusivamente las paredes y los escudos (ver Figura 78).

Creo y elimino escudos y muros dependiendo del tamaño de las áreas. También ajusto los valores gestionando los espacios entre los escudos. Obtengo así 3 nuevas casas prefabricadas, que contienen exclusivamente zonas de mayor o menor repulsión. El objetivo es entonces hacer que estas zonas aparezcan en los momentos deseados en la parcela.

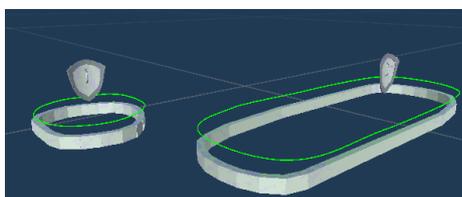


Figura 78 : Nuevo prefab compuesto exclusivamente por paredes y escudos

En una copia del script **SliderManager** adaptado para este escenario de la repulsión de plagas, agregamos varios elementos. Primero, creé 3 GameObjects públicos para arrastrar y soltar mis prefab recién creados en estas 3 variables (ver Figura 79). También agregué una variable **newObject** correspondiente al prefab que será instanciado.

```
public GameObject boucliers1;
public GameObject boucliers2;
public GameObject boucliers3;

public GameObject newObject;
```

Figura 79 : Definición de los diferentes GameObjects necesarios

Luego creé el método **SpawnPrefab** (ver Figura 80). Este método permite, cuando se llama, instanciar los escudos y muros y posicionarlos con la posición y rotación correspondiente a la parcela original. Además, **newObject** se coloca como hijo de la parcela.

```
public void SpawnPrefab(GameObject prefab)
{
    newObject = Instantiate(prefab, ARManager._newParcelle.transform.position, ARManager._newParcelle.transform.rotation);
    newObject.transform.SetParent(ARManager._newParcelle.transform);
}
```

Figura 80 : Méthode SpawnPrefab

Sólo queda una modificación por hacer : llamar al método **SpawnPrefab** en el momento adecuado, con el prefab correcto como argumento.

En **slider.onValueChanged.AddListener((value) => { })**, (ver Figura 75) agregó 3 condiciones, comprobando una vez más el valor de **_coefCroissance** (ver Figura 82), me ocupo en cada bucle de destruir el **newObject**, si ya ha sido instanciado previamente. Luego, llamo al método **SpawnPrefab** con el prefab correcto como argumento cada vez..

Para que la parcela no esté vacío cuando se inicia la aplicación, cuando se crea una instancia de la parcela por primera vez, agregó las siguientes líneas :

- **newObject = Instantiate(boucliers2, ARManager._newParcelle.transform.position, ARManager._newParcelle.transform.rotation);**
- **newObject.transform.SetParent(ARManager._newParcelle.transform);**

El objetivo es visualizar directamente el prefab con escudos y paredes de tamaño mediano, correspondientes a la posición inicial del cursor, antes de cualquier modificación por parte del usuario. El resultado final se puede ver en la Figura 81.



Figura 81 : Visual final de los tres tamaños de árboles y zona de repulsión

```
if (_coefCroissance == 0.3f){
    if (newObject != null)
        Destroy(newObject);

    SpawnPrefab(boucliers1);
}
if (_coefCroissance == 0.4f){
    if (newObject != null)
        Destroy(newObject);

    SpawnPrefab(boucliers2);
}
if (_coefCroissance == 0.5f){
    if (newObject != null)
        Destroy(newObject);

    SpawnPrefab(boucliers3);
}
```

Figura 82 : Los 3 nuevos bucles if creados para gestionar la apariencia de los escudos

Estética general mejorada

El último de los objetivos de esta segunda fase de desarrollo fue mejorar la estética general de la aplicación. La Figura 83 representa la interfaz (abierta directamente en Unity) y allí se ilustran todos los diferentes cambios de apariencia. En primer lugar, se han estandarizado los códigos de colores. El azul oscuro utilizado como fondo en las imágenes del tamaño del implemento es el mismo en el botón "Agregar tractor", el botón "Crear parcela" y el cursor de crecimiento. El área verde de este mismo cursor también es del mismo verde que el botón "+" de "Agregar tractor".

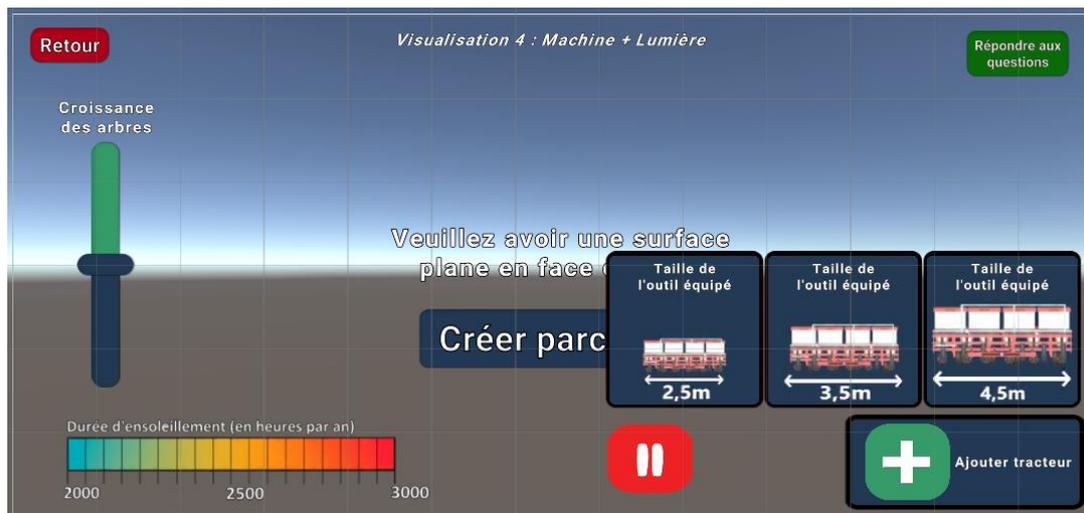


Figura 83 : Diseño final de la interfaz de visualización 4

Luego, se modificó la leyenda "Duración de la insolación (en horas por año)". El texto se ha cambiado a blanco para facilitar la lectura. Además, se han cambiado los botones de reproducción y pausa. Finalmente, el número de visualización y su título se muestran en la parte superior de la pantalla, en color blanco.

Taller/Pruebas

Como se explicó anteriormente, antes y después de esta fase de desarrollo, se redactaron un protocolo de prueba y cuestionarios. La estructura de estos cuestionarios ya ha sido explicada en la parte "Modelización" de este informe. Cada uno de los cuestionarios se puede consultar íntegramente en la parte "Anexos".

En este apartado volveremos a las particularidades de cada cuestionario y sus preguntas más importantes.

Cuestionario 1

El cuestionario N°1 se compone esencialmente de la tabla de afirmaciones y un espacio libre para comentarios.

Además de las 5 afirmaciones del cuestionario SUS modificado, este cuestionario contiene otras 4 afirmaciones. La última es la siguiente: "Poder modificar el tamaño de los árboles aporta un valor añadido interesante a esta visualización". Esta afirmación, al igual que los cinco cuestionarios del SUS modificados, está presente en todos los cuestionarios. Por lo tanto, no volveremos sobre esto en las siguientes secciones. El objetivo es evaluar el

valor agregado del crecimiento de los árboles en esta visualización y comparar su interés en todas las visualizaciones.

Las otras 3 declaraciones son :

- Las áreas que reciben poca luz se distinguen fácilmente de las áreas que reciben mucha luz,
- El código de color utilizado (de azul a rojo) es una buena elección de representación,
- Mostrar los árboles en blanco facilita la visualización de la información.

Estas 3 afirmaciones tienen como objetivo validar o no las elecciones, comprobar la buena legibilidad del mensaje o, más precisamente, la elección de los árboles en blanco para garantizar esta legibilidad.

Cuestionario 2

El cuestionario 2 también se compone de una tabla de afirmaciones y un cuadro de comentarios.

Las otras declaraciones son las siguientes:

- Las zonas de repulsión son fácilmente identificables,
- El uso de escudos es una buena opción para representar la protección de una zona,
- El hecho de que los escudos giren alrededor del área ayuda a delimitar claramente el área,
- Es útil delimitar el área protegida con muros,
- Los escudos tienen un tamaño ideal (bastante visibles pero no imponentes),
- El color de los símbolos del escudo y de las paredes es una buena opción para la representación.

Los puntos importantes aquí serán juzgar la elección de escudos y paredes para representar la repelencia de plagas. También se juzgará el movimiento de los escudos, sus colores, tamaños. También está presente una pregunta relativa únicamente a las paredes para evaluar su interés, por separado del de los escudos.

Cuestionario 3

El cuestionario 3 se refiere al paso de las máquinas, visualización que ofrece mucha más interacción para el usuario que las visualizaciones anteriores. Para evitar perder información y medir con precisión la comprensión del usuario no es suficiente. Entonces, este cuestionario comienza con preguntas cerradas. Hay 5 de estas preguntas y son las siguientes :

1. ¿ Identificaste el camino del tractor ?
2. ¿ Había identificado áreas problemáticas para las máquinas ?
3. ¿ Movi6 usted mismo el tractor por la parcela sin utilizar el bot6n de reproducci6n/pausa? (No es necesario responder si solo viste un video)
4. ¿ Viste el tractor pasar por un 6rea problem6tica por donde no pas6 ?
5. ¿Has cambiado el tama1o de los 6rboles mediante el control deslizante de "crecimiento" a la izquierda de la pantalla ? (No es necesario responder si solo viste un video)

Entre estas diferentes preguntas cerradas, los diagramas explicativos permiten mostrar a los participantes cualquier informaci6n que no hayan captado. As6, cada participante puede responder a las siguientes afirmaciones con el mismo nivel de informaci6n. Tenga en cuenta tambi6n que los participantes a distancia, no deben completar dos preguntas. De hecho, al tener estos 6ltimos un v6deo delante y no las tabletas en la mano, ni siquiera pod6an manipular los elementos. Adem6s, os recuerdo aqu6 que cada uno de los

cuestionarios comienza con una pregunta para especificar si el participante responde al cuestionario después de haber visto el vídeo o directamente manipulado la demo.

Respecto a la tabla de afirmaciones, las afirmaciones fuera del SUS y del cuestionario de crecimiento de árboles son las siguientes :

- La trayectoria del tractor es claramente visible,
- Las zonas por donde no pasa el tractor se pueden localizar fácilmente en la pantalla,
- Poder mover libremente el tractor en el lugar aporta un valor añadido,
- El hecho de que el tractor avance automáticamente siguiendo el recorrido técnico aporta un valor añadido,
- Mostrar los árboles en rojo es una buena forma de ver el paso de bloqueo de la máquina.
- Mostrar el vehículo en rojo es una buena forma de ver el paso de bloqueo de la máquina.
- Es necesario mostrar la trayectoria del tractor,
- La posibilidad de cambiar el tamaño del implemento detrás del tractor proporciona un valor añadido interesante.
- Es interesante poder pausar el movimiento del tractor.

Todas estas declaraciones permiten evaluar puntos concretos como la trayectoria del tractor, el hecho de mostrar en rojo tal o cual elemento, el movimiento del tractor, etc.

Cuestionario 4, 5 y 6

Los cuestionarios 4, 5 y 6 son idénticos. Aquí el objetivo es evaluar las 3 primeras combinaciones.

Estos cuestionarios constan de una tabla de afirmaciones y un área de comentarios.

Además de las 5 declaraciones SUS modificadas, existen las dos declaraciones siguientes:

- Esta visualización resalta interacciones interesantes entre las diferentes visualizaciones,
- Poder modificar el tamaño de los árboles permite observar todas las interacciones posibles entre las diferentes representaciones.

La primera afirmación es muy importante, porque nos permite medir el interés de los participantes en combinar tal o cual visualización.

La segunda afirmación tiene el mismo espíritu que las afirmaciones anteriores sobre el tamaño de los árboles, pero pone más énfasis en las posibles interacciones que el crecimiento de los árboles resaltaría.

Cuestionario 7

El último cuestionario se refiere a la combinación de las 3 visualizaciones. Este cuestionario comienza exactamente igual que los cuestionarios 4, 5 y 6. Sin embargo, finaliza con un apartado de repaso de las 4 combinaciones. Estas partes de evaluación se componen de 3 preguntas específicas :

1. ¿Qué visualizaciones crees que son realmente explotables y utilizables como herramienta en el futuro ?
2. Organiza las diferentes representaciones visuales desde la menos preferida hasta tu favorita asignando un número del 1 al 4 (donde 4 representa la visualización menos satisfactoria y 1 representa la que prefieres).

3. Mi interés en visualizar los servicios de los ecosistemas, a través de todas estas visualizaciones, es fuerte (Totalmente en desacuerdo, En desacuerdo, Ni de acuerdo ni en desacuerdo, etc.).

La primera pregunta nos permite evaluar qué combinaciones tienen significado real según los participantes. Esta pregunta tiene un vínculo particular con las afirmaciones anteriores sobre el interés de las combinaciones. La segunda pregunta permite obtener más información sobre la clasificación de visualizaciones. La última pregunta es una afirmación, del mismo tipo que las tablas descritas anteriormente. Esta vez el objetivo es evaluar, a través de todas las demos, el interés a nivel del ecosistema del usuario. Este último cuestionario finaliza con un área de comentarios de todo el trabajo realizado.

Control

Análisis general

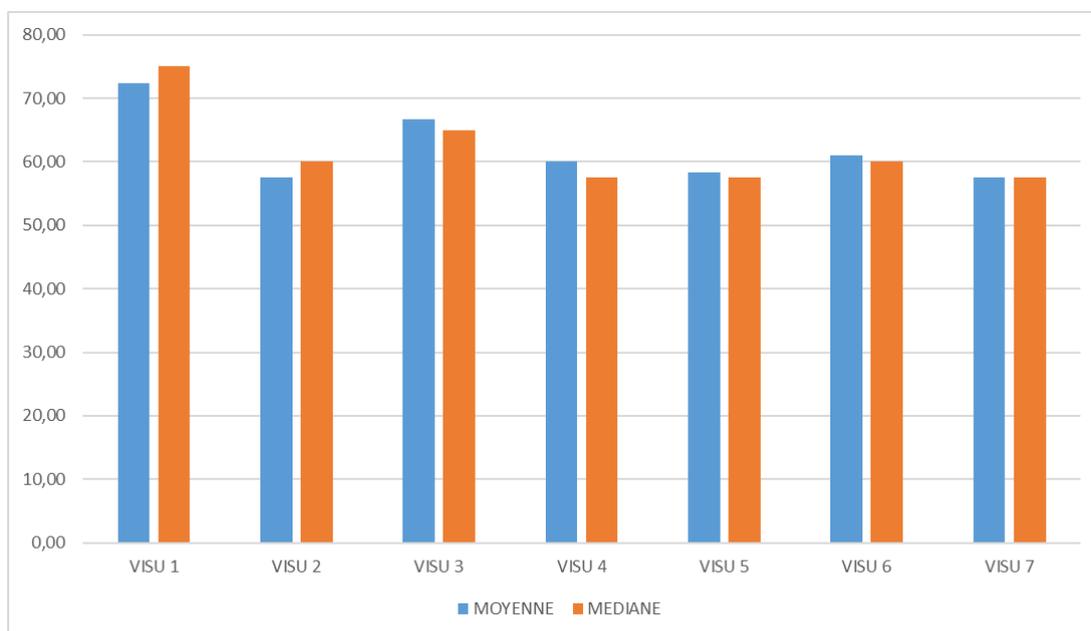


Figura 84 : Promedio y mediana de las puntuaciones SUS para cada visualización

Se puede realizar un primer análisis global tomando como base los resultados de las puntuaciones SUS de cada visualización. En la Figura 84 se representan las medias y medianas de las puntuaciones del SUS.

Una puntuación SUS se puede considerar correcta a partir de 60 y buena a partir de 70. Por lo tanto, en nuestro caso sólo hay dos visualizaciones que ya pueden considerarse alentadoras y satisfactorias : la visualización 1 (cantidad de luz en el suelo) y la visualización 3 (paso de maquinas).

La puntuación de la visualización 2 es muy baja. De hecho, las 3 primeras visualizaciones tienen un solo elemento a diferencia de las 4 combinaciones. La “repulsión de plagas”, se sitúa aproximadamente al mismo nivel que las combinaciones, es decir justo por debajo de 60. El resto de este análisis intentará explicar el fallo ya establecido aquí a partir de la visualización 2.

En cuanto a las combinaciones, los resultados son bastante cercanos. Todavía podemos notar un ligero avance de la visualización 6. Detallaremos más precisamente las diferencias entre las 4 combinaciones en la parte de clasificación de las 4 combinaciones.

La clasificación, teniendo en cuenta la mediana de todos los puntajes del SUS, se puede ver en la Figura 85. Como se vio anteriormente, las visualizaciones 1 y 3 tienen más puntos, seguidas por la visualización 6, que parece ser, según nuestro indicador SUS, la combinación que fue más unánimemente aceptada. La visualización 2 está al mismo nivel que la visualización 6. Además, excepto las visualizaciones 1 y 3, todas las demás están muy cerca y son difíciles de separar con la mediana solamente.

VISU 1	75,0
VISU 3	65,0
VISU 6	60,0
VISU 2	60,0
VISU 4	57,5
VISU 5	57,5
VISU 7	57,5

Figura 85 : Clasificación de visualizaciones por mediana SUS

Para obtener una primera clasificación, optamos por tomar estas mismas puntuaciones del SUS y dibujar un diagrama de caja (ver Figura 86). El cuadro representa el rango intercuartil (diferencia entre el 1er cuartil y el 3er cuartil). El primer cuartil separa el 25% más bajo de los datos, mientras que el tercer cuartil separa el 25% más alto de los datos. Por tanto, el cuadro contiene el 50% de los datos. La línea en el medio del cuadro es la mediana. Las líneas que se extienden verticalmente a lo largo de la parte inferior y superior del cuadro representan la dispersión de los datos fuera del rango intercuartílico. Finalmente, los puntos fuera de los bigotes pueden representar posibles valores atípicos.

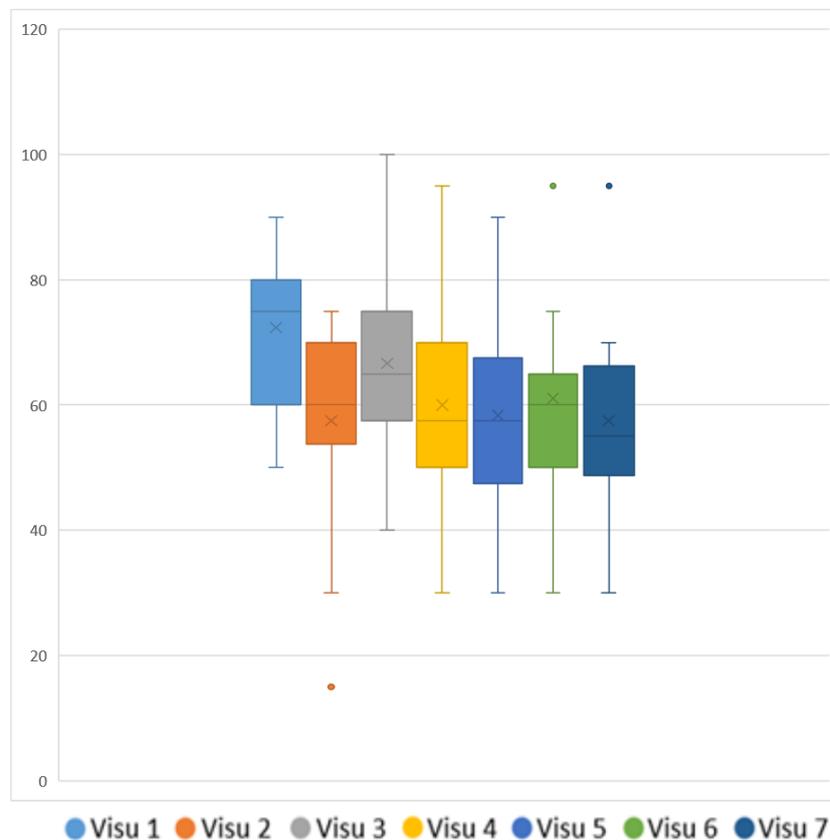


Figura 86 : Diagrama de caja de puntuaciones SUS para cada visualización

Observamos que, dependiendo de las visualizaciones, las respuestas están más o menos dispersas alrededor de la mediana. Por ejemplo, los datos de la visualización 1 son bastante ajustados : el 50% de los valores están entre 60 y 80. Los datos, también, permanecen concentrados cerca del cuadro. La visualización 2 tiene muchos mas valores bajos que altas. Por lo tanto, para la visualización 2, la distribución es asimétrica con valores que tienden a bajar.

Para las visualizaciones 4, 5, 6 y 7 los datos son muy extensos y el 50% de los valores se sitúan entre 50 y 70 (10 puntos menos que la visualización 1). Las visualizaciones 6 y 7 tienen un perfil similar a la visualización 2 : no mucho valores superior y mas valores inferior.

Clasificación de las visualizaciones

Para clasificar las combinaciones de visualizaciones 1, 2 y 3, pedimos a los evaluadores que seleccionaran las visualizaciones que podrían usarse en su trabajo y clasificaran las diferentes visualizaciones.

Selección de visualizaciones

La pregunta es : “¿Qué visualizaciones crees que son realmente procesables y utilizables como herramienta en el futuro? » Contando el número de selecciones para cada combinación, obtenemos la tabla de la Figura 87. Como se explicó anteriormente, las pequeñas diferencias no son muy significativas. La prueba es con la siguiente tabla que esta vez coloca en la primera posición. las visualizaciones 4 y 5, con 7 comillas cada una. La visualización 6 tiene dos puntos menos. La visualización 7 tiene solo 3 puntos y parece la menos utilizable. A la vista de las primeras clasificaciones obtenidas, queda claro que la diferencia entre las combinaciones es mínima. Seguramente una muestra más grande habría permitido obtener mayores diferencias. Sin embargo, todavía se pueden establecer grandes diferencias en puntos particulares, observando, en las siguientes partes, otros indicadores.

VISU 4	VISU 5	VISU 6	VISU 7
7,00	7,00	5,00	3,00

Figura 87 : Número de menciones para cada visualización a la pregunta "¿Qué visualizaciones crees que son realmente procesables y utilizables como herramienta en el futuro?" »

Además, para obtener una clasificación más precisa de las combinaciones todavía no se ha utilizado un dato : la clasificación de las combinaciones realizada por los diferentes participantes.

Clasificación de las visualizaciones por usuarios

Tuvimos las 4 visualizaciones clasificadas por los evaluadores y así obtuvimos una tabla con varias clasificaciones. Para obtener una clasificación general se utilizó el método de Condorcet.

Este método tiene la ventaja de enfrentar en duelo a cada elemento de la clasificación. Este método permite, si existen, identificar claramente un elemento inferior a cualquier otro o superior a cualquier otro. Sin embargo, los resultados pueden llevarnos a una paradoja de Condorcet. Esto puede suceder cuando ninguno de los elementos vence a todos los demás en duelos. Entonces es necesario utilizar un método complementario para llegar a la clasificación final, el método Schulze.

Por tanto, apliquemos el método Condorcet a nuestro caso. Usaremos el código de color de la Figura 88.



Figura 88 : Código de color utilizado para cada visualización

Elaboremos una tabla donde cada columna corresponda a una clasificación realizada por uno o más participantes (ver Figura 89). Las líneas corresponden a la posición asignada a las visualizaciones por los participantes. Algunos participantes han puesto las visualizaciones en la misma posición y estas se contabilizarán como tales en los cálculos.

Nombre de fois que ce classement apparaît											
	1	1	3	3	2	1	1	1	1	1	2
1er	Jaune	Jaune	Bleu	Vert	Rouge	Rouge	Bleu	Rouge	Vert	Jaune	Vert
2ème	Bleu	Bleu	Rouge	Jaune	Bleu	Vert	Jaune	Bleu et Rouge	Vert	Vert	Rouge
3ème	Vert et Rouge	Rouge	Vert	Rouge	Vert	Bleu	Vert	jaune	Bleu	Rouge et bleu	Bleu
4ème	Rouge	Vert	Jaune	Bleu	Jaune	Vert	Rouge	Vert	Rouge	et bleu	Jaune

Figura 89 : Tabla resumen de las clasificaciones de los participantes

Ahora podemos comenzar a comparar cada visualización. Por ejemplo, en el caso del duelo entre amarillo (visualización 7) y verde (visualización 4), miramos en cada columna cuál está por encima del otro en la clasificación. La visualización amarilla gana 5 veces contra la verde, mientras que el verde gana 10 veces contra la amarilla. Entonces, es verde quien gana este duelo. A continuación, podemos elaborar la siguiente tabla (ver Figura 91) y el gráfico asociado (ver Figura 90).

Jaune	Bleu
7	9
Jaune	Rouge
8	9
Jaune	Vert
5	10
Bleu	Rouge
7	9
Bleu	Vert
9	8
Rouge	Vert
8	8

Figura 91 : Tabla de duelos

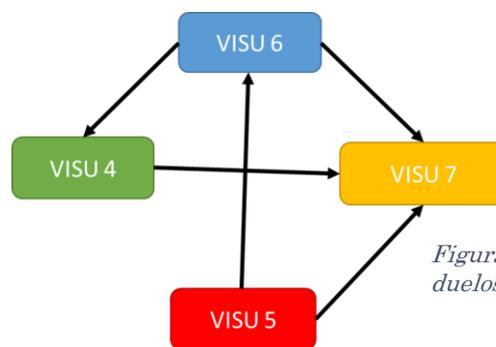


Figura 90 : Gráfico de duelos

Ahora contamos el número de duelos ganados por cada visualización. La visualización 7 no ganó ningún duelo, la visualización 4 un duelo y las visualizaciones 5 y 6 ganaron dos duelos. Sin embargo, sólo la visualización 5 no perdió ningún duelo. Aquí, el método Condorcet no da directamente un ganador, porque la visualización no gana todos sus

duelos. Para determinar un ganador entre las visualizaciones, aplicaremos el método Schulze.

El método Schulze permite tener en cuenta las derrotas indirectas y permite identificar un elemento que, gana indirectamente a los demás.

Entonces, es necesario calcular la fuerza de los duelos que corresponde a la diferencia entre el número de victorias más alto y el número menos conseguido en cada duelo. Por ejemplo, si tomamos el mismo ejemplo entre amarillo y verde, el verde gana al amarillo con una fuerza de 5. Aquí está la tabla la fuerza de los duelos (ver Figura 92) y el gráfico de duelos actualizado con las fortalezas (ver Figura 93).

Figura 92 :
Tabla de
duelos con la
fuerza de los
duelos

Jaune	Bleu	Force
7	9	2
Jaune	Rouge	
8	9	1
Jaune	Vert	
5	10	5
Bleu	Rouge	
7	9	2
Bleu	Vert	
9	8	1
Rouge	Vert	
8	8	0

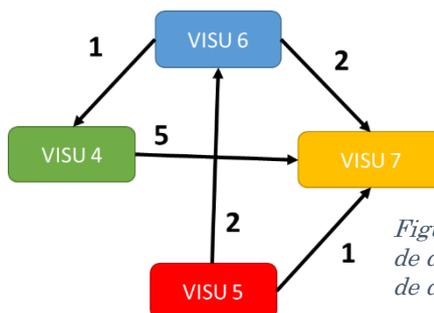


Figura 93 : Gráfico
de duelos con fuerza
de duelos

Ahora calculemos los duelos de trayectoria de fuerza. Rehacemos cada duelo utilizando las flechas y sus valores. Por ejemplo, para ir de la visualización 5 hasta la visualización 7, pasamos por una flecha de valor 1 o dos flechas de valores 2. Tomamos el valor más pequeño, entonces, conservamos el valor 1. En la otra dirección, no hay ninguna flecha que conduzca de 7 a 5. Entonces, la visualización 5 gana este duelo con una fuerza de 1.

Rehaciendo todos los duelos usando los caminos de fuerza, obtenemos la siguiente tabla en la Figura 94. Aquí encontramos el mismo número de duelos ganados para cada visualización, con una excepción, la visualización 5 gana todos sus duelos. De hecho, esta vez supera indirectamente a la visualización 4. Por lo tanto, la visualización 7 terminó última en la clasificación, con la visualización 4 justo por delante.

La visualización 6 termina en segundo posición, y finalmente, es la visualización 5 la preferida sobre todas las demás (ver Figura 95), gracias a los duelos indirectos. Sin embargo, las diferencias son muy pequeñas.

Duels de chemins de force	
Jaune	Bleu
0	2
Jaune	Rouge
0	1
Jaune	Vert
0	5
Bleu	Rouge
0	2
Bleu	Vert
3	0
Rouge	Vert
5	0

Figura 94 : Tabla de duelos con caminos de fuerza



Figura 95 : Clasificación final de las 4 combinaciones

Ahora que tenemos una clasificación general sobre la apreciación de las visualizaciones, las analizaremos en detalle para entender esta clasificación.

Comparación detallada de las preguntas del SUS

Las preguntas del SUS que seleccionamos miden el deseo de reutilización, accesibilidad, legibilidad, complejidad y coherencia de la visualización evaluada. Los gráficos de las Figura 96 y Figura 97 comparan la puntuación de las visualizaciones. La puntuación aquí corresponde a la media de las respuestas obtenidas (puntuaciones entre 1 y 5), situadas en una escala de 0 a 100, con el fin de mejorar la lectura. El objetivo de esta parte es comparar todas las visualizaciones sobre puntos clave, representados por estas 5 preguntas. El primer gráfico (ver Figura 96) compara las afirmaciones que suenan positivas cuya puntuación debe ser lo más alta posible. El segundo gráfico (ver Figura 97) compara declaraciones que suenan negativas cuyas puntuaciones, idealmente, deberían ser lo más bajas posible.

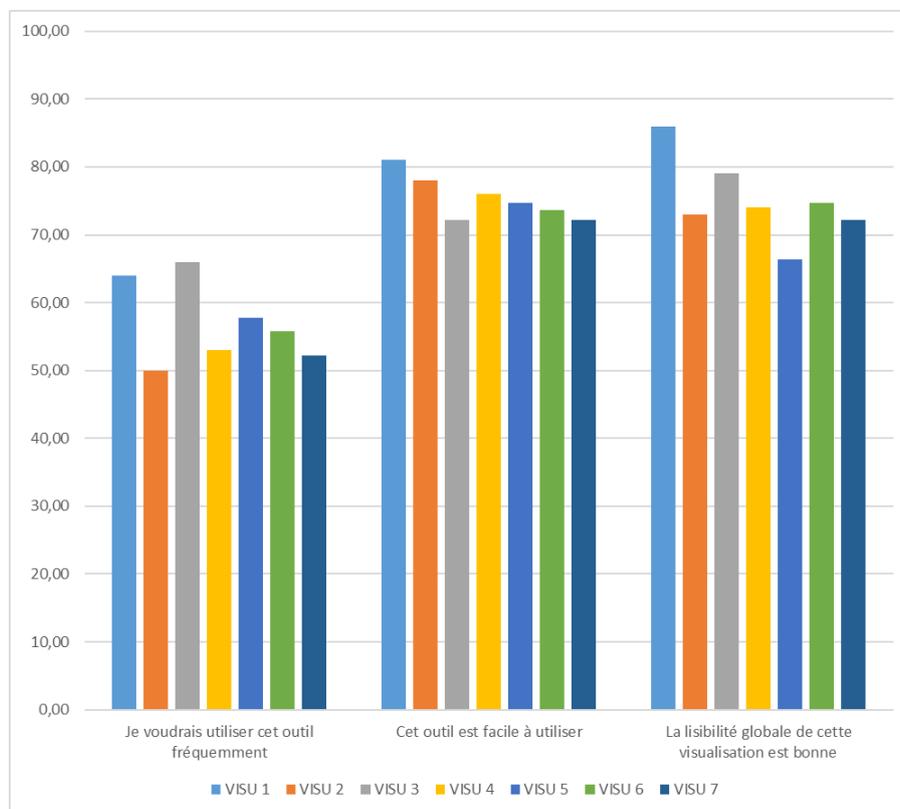


Figura 96 : Resultados de las 3 afirmaciones positivas para cada visualización

Me gustaría utilizar esta herramienta con frecuencia

El primer indicador permite evaluar si el usuario utilizar en el futuro la herramienta. Muy claramente, hay dos visualizaciones que están totalmente arriba : visualización 1 (cantidad de luz en el suelo), y visualización 3 (paso de máquinas). Las puntuaciones obtenidas por estas dos visualizaciones son 64 para la visualización 1 y 66 para la visualización 3. En cuanto a la visualización 2 (repulsión de plagas), su puntuación es la más baja de todas las visualizaciones con una puntuación de 50.

Las visualizaciones 4 y 7 tienen una puntuación muy cercana a la visualización 2 y, por lo tanto, no convencieron tanto como las otras combinaciones. Por tanto, son las visualizaciones 1 y 3 las que despiertan más interés entre los participantes al permitirles proyectarse más que con las otras visualizaciones.

Esta herramienta es fácil de usar

Esta afirmación tiene como objetivo evaluar la facilidad de uso de la herramienta. Lo que se puede observar aquí, en general, cuanto más avanzamos hacia las combinaciones, menos fácil resulta utilizar la herramienta. Sin embargo, la visualización 3 es menos fácil de usar que las otras visualizaciones, incluidas las combinaciones. De hecho, el “paso de las máquinas” es evidentemente más difícil de manejar que las dos primeras visualizaciones. Con las visualizaciones 1 y 2, el usuario sólo podía influir en el tamaño de los árboles. En la visualización 3, además puede agregar un tractor, cambiar el tamaño, pausar el tractor y mover el tractor manualmente. Así, el usuario tiene un aprendizaje relacionado con las nuevas funciones y por tanto, que se considere más difícil de utilizar, no es de extrañar. Sin embargo, su puntuación está ligeramente por debajo de las combinaciones. Si bien en ocasiones contendrán la misma cantidad de funcionalidades, con parcelas cada vez más sobrecargadas de información. Esta diferencia puede explicarse por el aprendizaje y la experimentación ya realizados durante la prueba. En efecto, cuando el usuario maneja las combinaciones, ya ha podido practicar y comprender las dificultades de utilizar el "paso de las máquinas" gracias a la visualización 3.

Sin embargo, conviene recordar que las puntuaciones obtenidas son particularmente altas (todas entre 72 y 81), muy superiores a las del primer indicador. Por lo tanto, estos resultados son muy alentadores y demuestran la facilidad de uso.

La legibilidad general de esta aplicación es buena

Los resultados son bastante similares al criterio de “facilidad de uso”. Cuanto más avancemos hacia las últimas combinaciones, peor será la legibilidad. Lo cual es completamente lógico. Sin embargo, conviene hacer aquí varias aclaraciones, porque una vez más hay excepciones.

En primer lugar, la visualización 2 está muy por debajo de las visualizaciones 1 y 3. Por tanto, la elección de las representaciones para la visualización 2 es mucho menos unánime. En segundo lugar, la visualización 5 se considera la menos legible de todas, incluso menos legible que la visualización 7 que combina todas las representaciones. Sin embargo, la visualización 5 ocupó el primer lugar en la clasificación de combinaciones realizada anteriormente. Intentaremos explicar esta diferencia utilizando la sección de comentarios y observaciones.

Esta herramienta es innecesariamente compleja

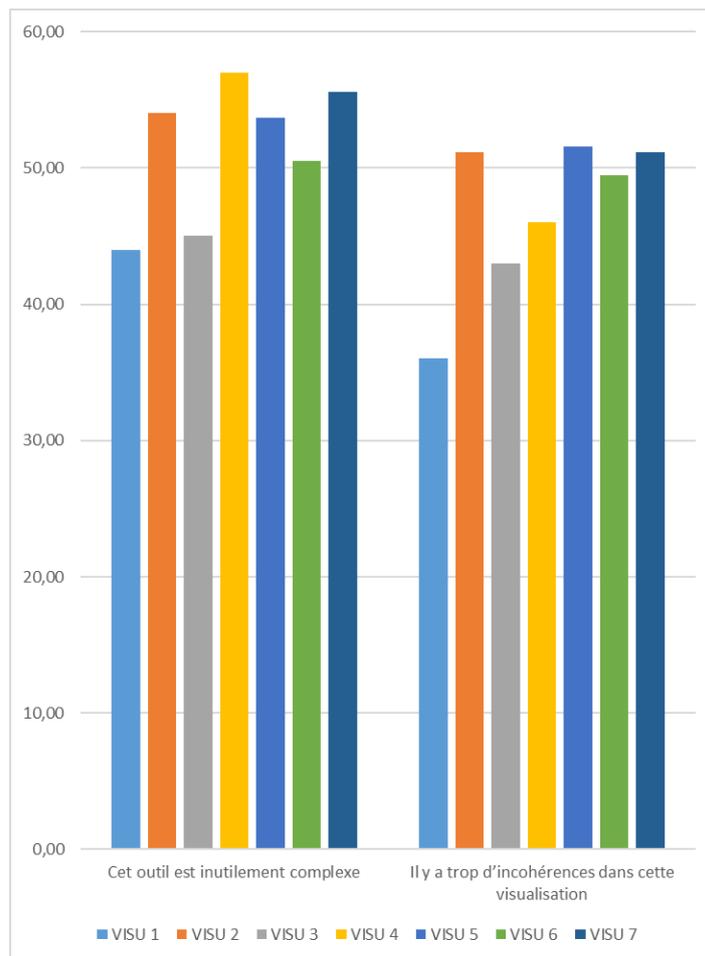


Figura 97 : Resultados de las 2 afirmaciones negativas para cada visualización

El siguiente indicador es la complejidad. La afirmación es, esta vez, negativa, lo que significa que cuanto más altas son las puntuaciones, más compleja es la visualización. Entonces, las mejores visualizaciones son aquellas con las puntuaciones más bajas.

Nuevamente, las visualizaciones 1 y 3 funcionan mejor y se consideran las menos complejas. En general, las combinaciones son más complejas. Sin embargo, existen 2 excepciones. En primer lugar, la visualización 6 (“la cantidad de luz en el suelo” y “las zonas de repulsión de plagas”) se considera menos compleja entre las otras 3 combinaciones. Esto explica su ranking previamente establecido, ubicándolo como el número 2 de las combinaciones, muy cerca del primero. En segundo lugar, la visualización 2 vuelve a estar fuera de sintonía con las visualizaciones 1 y 3 y se considera anormalmente compleja.

Hay demasiadas inconsistencias en esta visualización

El último indicador se refiere a la coherencia de la visualización. Esta afirmación vuelve a ser negativa como la de la complejidad. Cuanto más bajas sean las puntuaciones, más consistentes serán las visualizaciones.

Es interesante observar que las puntuaciones son mucho más bajas que para cualquier otra afirmación. Lo cual es una buena señal de coherencia. Sin embargo, muchas puntuaciones alcanzan o se acercan a la media, lo que demuestra que todavía hay áreas

de mejora. Habrían sido preferibles puntuaciones inferiores a 40. Sólo una visualización logra obtener tal puntuación : la visualización 1 con una puntuación de 36. La segunda mejor es la visualización 3, con una puntuación de 43. Las combinaciones son las menos consistentes y se acercan más a la media. Sin embargo, tenga en cuenta que la visualización 4 es la combinación que se considera más coherente con solo 3 puntos de diferencia con la visualización 3. Finalmente, una vez más, la visualización 2 no está sincronizada con las visualizaciones 1 y 3. Esta vez, aquí está, por lo tanto. Considerados tan inconsistentes como las combinaciones.

Conclusion intermédiaire

Hay varios puntos que extraer de este análisis centrado en las afirmaciones del cuestionario del SUS. Primero, la visualización 1 (cantidad de luz en el suelo) es un gran logro. Se considera el menos complejo, el más fácil de utilizar, el más coherente y el más legible. El punto más cuestionable es el interés en el largo plazo (“Me gustaría usar esta herramienta con frecuencia”) donde solo obtiene 64, detrás de la visualización 3.

El segundo gran éxito es la visualización 3 (paso de las máquinas). Obtuvo puntuaciones muy cercanas a la visualización 1. Sus principales puntos de mejora son la consistencia, que es un poco débil, y la facilidad de uso, en menor medida. A pesar de estos pocos defectos, sigue siendo la visualización que despierta mayor interés.

La visualización 2 es, sin ninguna duda, decepcionante para los usuarios. Es la visualización que hace que menos quieras ser utilizada a largo plazo. Se considera relativamente complejo e inconsistente, además de muy difícil de leer en comparación con otras visualizaciones. Su único punto positivo es la facilidad de uso. Por lo tanto, estas afirmaciones no hacen más que confirmar los primeros resultados analizados anteriormente. Las otras declaraciones, así como los comentarios, seguirán explicando las fuentes de estos malos resultados.

En cuanto a las combinaciones, sus resultados son en promedio siempre mucho más bajos que las visualizaciones 1 y 3. Tenga en cuenta que la visualización 6 es un poco menos compleja que las otras combinaciones, la visualización 5 es la menos legible pero despierta el mayor interés, la visualización 4 es la más consistente y visualización 7 obtiene puntuaciones bajas en todas las categorías. Estas conclusiones intermedias deben matizarse, profundizarse y confirmarse con el análisis de los demás puntos del cuestionario.

Análisis de las otras preguntas

Esta parte tiene como objetivo estudiar las demás cuestiones presentes en las tablas de enunciados. Se trata de afirmaciones sobre aspectos más específicos, que no formaban parte del cuestionario original del SUS.

Análisis de las visualizaciones 1, 2 y 3.

Visualización 1

Al igual que las preguntas generales, los resultados son muy buenos para la visualización 1. Las puntuaciones están más de 80. Las elecciones realizadas para esta visualización fueron las acertadas. Sólo hay una afirmación que obtiene peor puntuación : “Mostrar el resto del gráfico en blanco le permite ver la información con mayor claridad”. Esto puede explicarse (en parte) por la redacción poco clara de la pregunta.

Visualización 2

En cuanto a la visualización 2, ninguna calificación es particularmente baja ni particularmente alta. Además, las notas no son malas, porque la media aquí ronda el 71, lo que es un buen resultado. Las zonas de repulsión se consideran fácilmente identificables (85/100). En cuanto a la elección de escudos específicamente, la puntuación es 73, lo cual es bueno, pero no es unánime. El color del escudo y los símbolos de la pared sólo acumula 59 puntos.

Visualización 3

Para la visualización 3, las puntuaciones vuelven a ser mucho más altas, con una media de unos 82 puntos. Un punto muy apreciado de esta visualización es el hecho de poder cambiar el tamaño de los árboles. El camino técnico es claramente visible. También se valida la elección de mostrar los árboles en rojo (89 puntos). Por el contrario, mostrar el tractor en rojo no es unánimemente aceptado (78 puntos). Poder cambiar el tamaño del apero remolcado es lo más apreciado, con una puntuación muy alta, casi 92. Poder mover el tractor con libertad es el elemento menos apreciado. No es de extrañar, no había ningún elemento en la pantalla que animara a mover manualmente el tractor y su movimiento no es el más fluido. En general, los resultados son muy positivos.

Questions	Nombre de NON
Aviez-vous identifié le chemin du tracteur ?	1
Aviez-vous identifié des zones problématiques pour les machines ?	2
Avez-vous, vous-même, déplacé le tracteur sur la parcelle, sans utiliser le bouton play/pause ?	7
Avez-vous vu passer le tracteur sur une zone problématique où il ne passait pas ?	2
Avez-vous modifié la taille des arbres via le curseur "croissance" à gauche de l'écran ?	3

Además de las afirmaciones, el cuestionario asociado a la visualización 3 contenía varias preguntas cerradas. A continuación se muestra una tabla que resume estas preguntas con el número de respuestas negativas de los 20 participantes (ver Figura 98). Como era de esperar, la pregunta que recibió más votos negativos fue la de mover manualmente el tractor. Quizás sería interesante visualizar alguna indicación para animar al usuario a manejar el tractor por sí solo.

Figura 98 : Resultados de las preguntas cerradas del cuestionario 3

Análisis de combinaciones

Ahora nos interesan las últimas afirmaciones presentes en los cuestionarios combinados. Además de las 5 preguntas del cuestionario SUS, los participantes debían posicionarse sobre otras dos afirmaciones.

La primera afirmación pretende medir el interés de la combinación. ¿Esta combinación permitió interacciones interesantes? La segunda afirmación se centra en los impactos del cambio de tamaño de los árboles. A continuación se muestra un gráfico con la puntuación de cada una de las combinaciones para los dos parámetros (ver Figura 99).

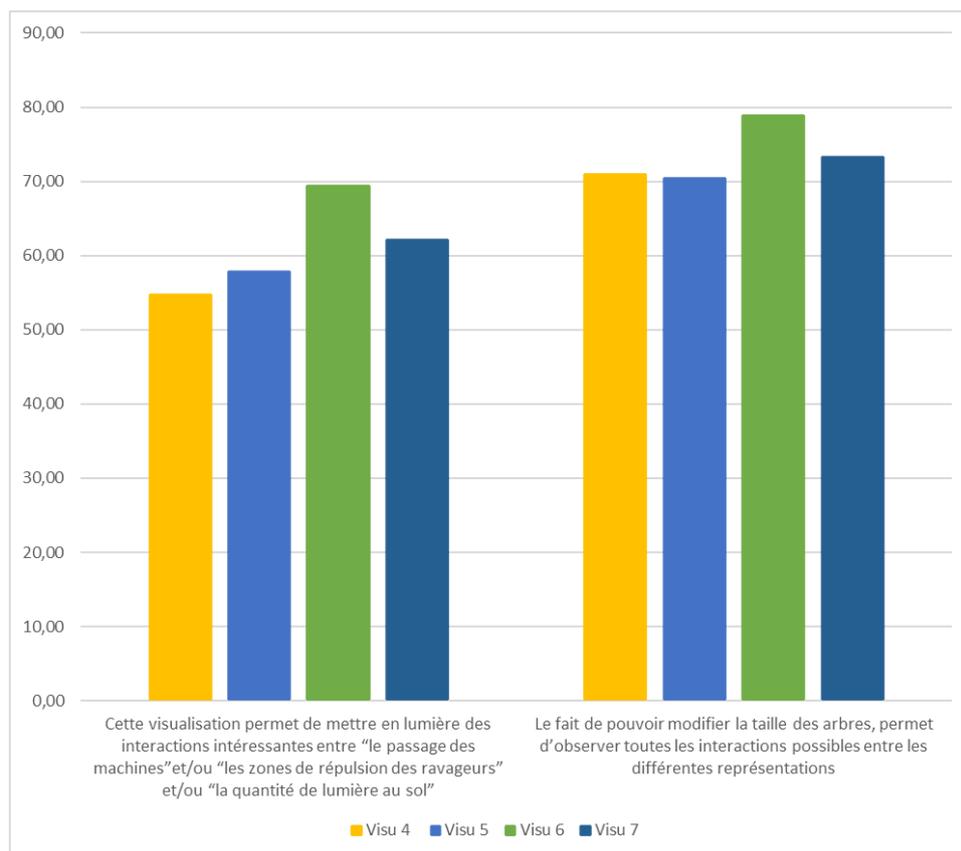


Figura 99 : Puntuaciones de cada combinación para declaraciones no SUS

En primer lugar, la visualización que permite resaltar las interacciones más interesantes es la visualización 6. Por tanto, la interacción entre la repulsión de las plagas y la cantidad de luz en el suelo parece ser la más relevante. Esto confirma las buenas puntuaciones obtenidas anteriormente mediante la visualización 6.

Las visualizaciones 5, 7 y 4 están aproximadamente 7, 11 y 14 puntos por detrás, respectivamente. Según los encuestados, combinar el paso de las máquinas y la cantidad de luz en el suelo no genera interacciones interesantes.

Con respecto a la afirmación sobre cambiar el tamaño de los árboles, nuevamente, se prefiere la visualización 6 a las demás. Las otras visualizaciones están unos 10 puntos por detrás. En términos generales, los resultados son bastante positivos para esta pregunta.

Análisis de los comentarios

En cada uno de los cuestionarios distribuidos, los participantes pudieron completar un espacio de "comentarios y observaciones", con total libertad. Esta sección pretende hacer un balance de las ideas más citadas y más interesantes.

Análisis para cada visualización

Comencemos haciendo un balance de los comentarios de cada visualización, sintetizándolos en ideas más generales y aprovechando los resultados de las preguntas anteriores.

Visualización 1

13 personas de 20 completaron el área de comentarios del cuestionario número 1. Para esta visualización, 4 participantes citan dos elementos. La primera observación citada cuatro veces se refiere al esquema de color utilizado. A varios participantes les hubiera gustado el uso de otros colores. En cambio, un participante sugiere utilizar tonos de verde, porque el rojo evocaría demasiado calor. Otra persona preferiría ver un degradado de amarillo con quizás un marrón oscuro para las áreas de sombra. Finalmente, a un último le gustaría sustituir el azul por un gris más o menos oscuro. En general, les gustaría un degradado de color más cercano a la realidad. Me gustaría recordarles, sin embargo, que el 80% de los participantes calificaron con 5 (completamente de acuerdo) o 4 (de acuerdo) la afirmación “El código de color utilizado (de azul a rojo) es una buena elección de representación” (ver Figura 100).

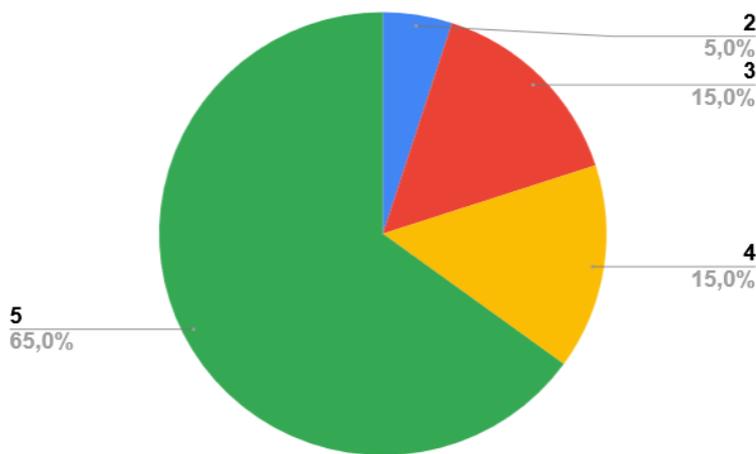


Figura 100 : Resultados de la pregunta “El código de color utilizado (de azul a rojo) es una buena elección de representación”

El segundo punto, también mencionado 4 veces, es el de controlar la luz, sombra y orientación de la parcela. Esta idea de mejora es importante, porque se volverá a mencionar más adelante en otros espacios de comentarios.

Visualización 2

El espacio para los comentarios para la visualización 2 es muy claro. El 35% de los participantes no entiende la representación o la considera mala. Estas cifras son comparables a los resultados de la afirmación: “El uso de escudos es una buena opción para representar la protección de un área” (ver Figura 101). A esta afirmación, el 40% de los participantes encuestados le dio una puntuación de 2 o 3.

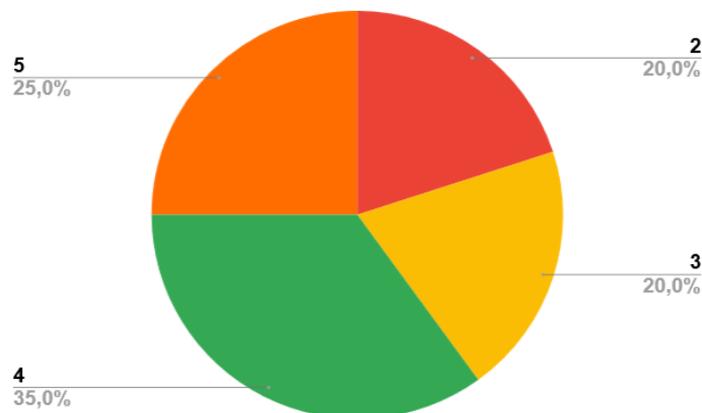


Figura 101 : Resultados a la pregunta “El uso de escudos es una buena opción para representar la protección de una zona”

Si profundizamos en las observaciones, observamos que las propuestas son variadas. Una persona habría preferido una representación con gradiente de color, como la visualización 1. Otra persona realmente piensa que un área en el suelo es suficiente. Un tercer participante incluso propuso un diagrama compuesto por una representación todavía exclusivamente en el suelo, pero esta vez con flechas (ver Figura 102). Otra persona imaginó una cúpula tipo “campo de fuerza”. Estas propuestas son interesantes, pero no tienen en cuenta la idea de combinaciones. En efecto, si todas las visualizaciones se componen únicamente de representaciones sobre el terreno, será muy complicado visualizarlas simultáneamente. Sólo la propuesta de cúpula sería utilizable para combinaciones.

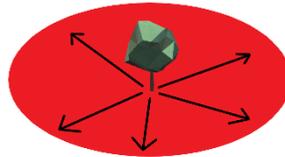


Figura 102 : Diagrama realizado por uno de los participantes

La segunda observación más citada se refiere una vez más a la elección de la representación, ya que se trata del color incorrecto de los escudos y las paredes. Si nos fijamos también en la distribución de votos sobre la afirmación “El color de los símbolos del escudo y de las paredes es una buena elección de representación”, observamos que casi el 35% de los participantes no están satisfechos con la elección del color (ver Figura 103).

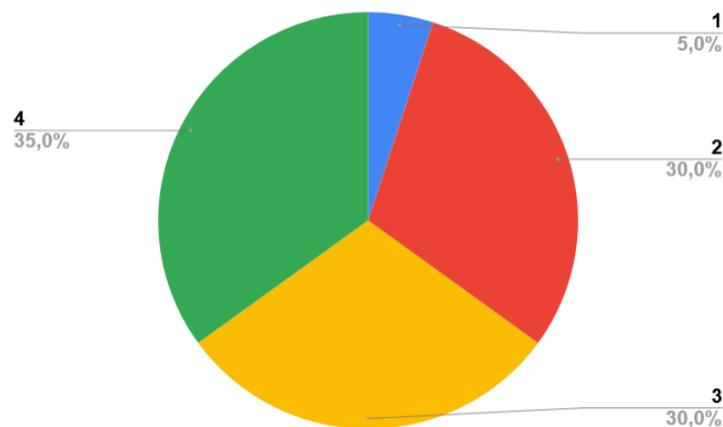


Figura 103 : Resultados de la pregunta "El color de los símbolos de escudos y las paredes es una buena elección de representación"

Finalmente, también es interesante destacar otra observación. El término “repulsión de plagas” no parece apropiado aquí. Aunque sólo se citó dos veces, esta observación es importante porque fueron los dos expertos agrícolas quienes la hicieron.

Visualización 3

La visualización 3 fue objeto de muchos comentarios. De hecho, el cuestionario 3 contenía 2 espacios para comentarios, a diferencia de solo uno en los demás cuestionarios. El primer espacio de comentarios estuvo más dedicado a los elementos visuales utilizados y se ubica justo después de las preguntas cerradas. El segundo espacio de comentarios estaba reservado para cualquier tipo de comentario.

La observación más citada se refiere a la falta de referencia de escala y tamaño. El 25% de los participantes hizo este comentario. El 15% de los comentarios se centran en un problema, el del botón play/pausa. De hecho, para varias personas, los símbolos de

reproducción y pausa estaban invertidos. Otro elemento que provocó reacción fue el camino que no estaba centrado en el medio. A algunas personas también les gustaría ver cambios en las líneas de puntos. Para dos personas, no son intuitivos. Para otros dos, sus estados (rojo o gris) no se actualizan automáticamente. Tenga en cuenta también que 4 personas quedaron especialmente satisfechas y se tomaron el tiempo para compartir su entusiasmo en los comentarios. En general, los demás comentarios son bastante variados.

Visualización 4

Para esta primera combinación el elemento más citado es su interés. El 40% de los encuestados no comprende su utilidad. La legibilidad también vuelve a ser un punto preocupante para 2 personas. Finalmente, observamos aquí la confirmación de un problema mencionado anteriormente: los símbolos de reproducción y pausa están invertidos. Finalmente, cabe señalar la siguiente nota: "Cambiar ancho de pasillo/densidad de árboles".

Visualización 5

En esta segunda combinación, el comentario más citado es el mismo que en la visualización 4. La diferencia aquí es que esta idea es mencionada solo por el 25% de los participantes, en comparación con el 40% durante la visualización anterior. Por lo tanto, parece mejorarse el interés de esta combinación. Anteriormente habíamos visto que la visualización 5 era la combinación más convincente. Este primer lugar también se siente aquí. Tres personas notaron problemas para poner la parcela virtual en la mesa. Estos problemas pueden ocurrir si la mesa no está libre de ningún otro elemento, o si hay reflejos por ejemplo. Los otros tres comentarios fueron citados dos veces y ya se habían mencionado anteriormente. Estos son mala legibilidad, errores en las líneas de puntos y el ancho de los pasillos.

Visualización 6

La visualización 6 contiene pocos comentarios en comparación con las otras visualizaciones. Realmente no hay una idea que se destaque. Sólo 2 comentarios se citan dos veces. El primero es el del « interés de representación ». En comparación con las dos combinaciones anteriores, esta observación se menciona menos aquí, lo que demuestra el mayor interés de los participantes en la visualización 6. El segundo comentario citado dos veces es el siguiente : "Combinación bastante interesante".

En resumen, esta visualización recibe muy pocos comentarios y 1 comentario positivo citado 2 veces.

Visualización 7

El perfil de comentarios de esta visualización 7 se parece a la visualización 6 : muy pocos comentarios y ninguna idea que realmente destaque. La observación sobre el interés de la visualización sigue presente, con un 15% de observaciones sobre este tema. Lo que hace que las visualizaciones 6 y 7 sean las combinaciones que más interés despiertan. El error de la línea de puntos todavía se cita, al igual que el ancho entre los arboles.

Cuestionario Final

Al final del último cuestionario, se puso a disposición un espacio para expresar comentarios sobre las 7 visualizaciones. No hay muchos comentarios en esta sección, ya que la mayoría de los participantes ya han compartido todos sus comentarios anteriormente. Los participantes que se tomaron la molestia de comentar, compartieron su deseo de cambiar la distancia entre los árboles (deseo del 20% de los participantes). El cambio de orientación de la parcela también es una idea ya comentada anteriormente que vuelve aquí para 2 personas.

Ideas principales

Después de analizar las observaciones más citadas para cada combinación, en esta parte resumiremos las ideas más presentes que se repiten de una visualización a otra. Primero intentemos clasificar todos estos comentarios por temas principales para comprender qué tipo de comentarios surgen en particular.

Los temas serán:

- Aspecto visual y diseño.
- Control y manipulación de la interfaz
- Comentarios generales e ideas de mejora.
- Errores/Problemas

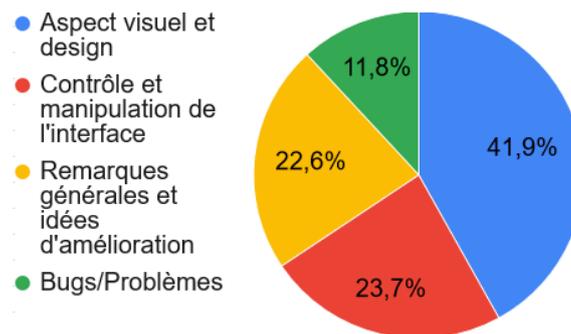


Figura 104 : Repartición de los temas de comentarios en todas las visualizaciones

El gráfico de la Figura 104 nos muestra la distribución de todos los comentarios, según las diferentes temáticas. El tema que ocupa la primera posición es “el aspecto visual y el diseño”, representando alrededor del 42% de los comentarios. De hecho, la legibilidad, el realismo, la elección de colores u otros símbolos son ejemplos de comentarios centrados en el aspecto visual que surgieron con frecuencia.

El segundo tema más citado es “Control y manipulación de la interfaz” con un 23,7%. Por lo tanto, una cuarta parte de los comentarios reflejan el deseo de mayor control, personalización y opciones disponibles. Encontramos, por ejemplo, las observaciones “Cambio del tamaño de los pasillos de árboles” o “Control de la sombra/luz de orientación”. Otras propuestas interesantes sobre este tema se refieren a poder hacer zoom, cambiar la densidad de los árboles o incluso cambiar el tipo de herramienta remolcada.

Luego, el 22,6% hizo comentarios bastante generales y dio sus ideas de mejora. En esta parte, la mayoría de las observaciones se refieren al interés de la representación. El resto de comentarios se dividen entre puntos positivos sobre las combinaciones y la falta de interacciones visibles de estas mismas combinaciones.

Finalmente, sólo el 12% de los comentarios se refieren a errores y problemas encontrados por los participantes. Siendo los dos principales el del botón play/pausa y el de las líneas de puntos, ya mencionados anteriormente. Otras cuestiones importantes son :

- Algunos árboles permanecen mostrados en rojo después del paso del tractor,
- El cursor para gestionar el crecimiento de los árboles aparece desplazado,
- Cambiar el tamaño de los árboles sólo es posible si se coloca un tractor en la parcela.

Remarques	Nombre de remarques	Visualisations où elles apparaissent						
		1	2	3	4	5	6	7
Quel est l'intérêt de cette visualisation ?	24	■	■	■	■	■	■	■
Changer/Modifier la taille des allées	8	■	■	■	■	■	■	■
Mauvais choix/comprehension de représentation	7	■	■	■	■	■	■	■
Super/Top/ Donne envie d'utiliser/ Bien	6	■	■	■	■	■	■	■
Contôle de la lumière/ombre/orientation	6	■	■	■	■	■	■	■
Manque de repère d'échelle (rang, hauteur machine, arbre etc)	6	■	■	■	■	■	■	■
Bug pointillés (zones problématiques)	6	■	■	■	■	■	■	■
Mauvaise lisibilité	6	■	■	■	■	■	■	■
Problème bouton play/pause	5	■	■	■	■	■	■	■
Mauvaise couleur des boucliers et murs	4	■	■	■	■	■	■	■
Le jeu de couleur de la lumière est à changer	4	■	■	■	■	■	■	■

Figura 105 : Tabla resumen de las ideas más presentes entre todas las visualizaciones

Aquí está en la tabla de la Figura 105 un resumen de las ideas más presentes entre todas las visualizaciones. Para cada comentario se indica su número de menciones así como las visualizaciones donde aparece. En la parte superior de la lista está el "interés de la visualización". Aunque esta observación es recurrente, el interés de la visualización depende de la visualización en cuestión. Sin embargo, es interesante notar que esta observación aparece en todas las visualizaciones, excepto en la primera. Este no es el caso del "tamaño de los pasillos" que está presente en las visualizaciones 3, 4, 5 y 7. Esta observación es, por tanto, la principal modificación deseada en todas las visualizaciones. Después de modificar el tamaño de los árboles, la segunda modificación deseada es el control de luz/sombra/orientación. Esta modificación sería especialmente interesante para la visualización de la "cantidad de luz en el suelo". La falta de referencia de escala también surgió varias veces. En menor medida se podrían cambiar los colores de las paredes, mamparas y suelo (para la luz del suelo).

Cuando se trata de errores y problemas importantes, se destacan dos. Primero, las líneas de puntos, que no se actualizan perfectamente dependiendo del tamaño de los árboles o de la herramienta. En segundo lugar, los botones de reproducción y pausa que están invertidos. Finalmente, los participantes señalaron una mala legibilidad para todas las combinaciones, lo que confirma los estudios realizados anteriormente.

Analicemos ahora a qué temas pertenecen los comentarios de cada visualización. Los comentarios sobre las visualizaciones varían significativamente. En la primera visualización se equilibran los aspectos visuales y el control de la interfaz, sin comentarios sobre problemas técnicos. En el segundo, dominan las observaciones generales, con preguntas sobre « el interés ». El tercero provoca muchas reacciones en el aspecto visual, con notables problemas técnicos. El cuarto es criticado por su falta de interés, con problemas y aspectos visuales en primer plano. El quinto suscita críticas por problemas técnicos, a pesar del creciente interés. El sexto genera menos comentarios negativos, algunos de los cuales se centran en el interés. Finalmente, el séptimo, que reúne todas las visualizaciones, recibe pocos comentarios, con preocupaciones sobre problemas técnicos persistentes.

Resultados de analisis

En conclusión, 4 visualizaciones lograron seducir y convencer a los participantes : las visualizaciones 1, 3 y las visualizaciones 5 y 6, para las combinaciones. La visualización 2 tuvo resultados claramente inferiores.

La visualización 1 (cantidad de luz en el suelo) es la más unánime. La legibilidad, la coherencia y la elección de las representaciones recibieron puntuaciones altas y los comentarios de los evaluadores confirmaron esta valoración. De hecho, algunos comentarios propusieron modificar el código de colores utilizado, pero este último sigue siendo validado por la inmensa mayoría de los participantes. Podemos conservar el deseo de controlar la luz y la orientación como punto de mejora para esta visualización 1.

La visualización 3 (paso de máquinas) parecía más compleja, menos legible y más fácil de usar que la primera de las visualizaciones. Sin embargo, sigue siendo un éxito, porque es la visualización que más quieren utilizar los participantes en el futuro. Los comentarios dejados pudieron validar este entusiasmo y especificar puntos de mejora, como la adición de una referencia de escala.

En comparación con las combinaciones, la visualización 5 fue la más apreciada según los métodos de Condorcet y Schulze. Este primer puesto se debe en gran medida a la presencia del "las máquinas" en esta combinación. Su asociación con la repulsión de plagas se consideró más relevante e interesante que con la cantidad de luz en el suelo (visualización 4). La visualización 5 es la combinación que los participantes más quieren usar.

La visualización 6 pudo satisfacer principalmente gracias al interés de la información presentada (la repulsión de las plagas y la cantidad de luz en el suelo). Según sus muy buenas puntuaciones en el cuestionario SUS, es fácil de usar y no complejo a pesar de la combinación y a pesar de la presencia de la representación de repulsión de plagas que no atrajo a los evaluadores. Sin embargo, su coherencia no es buena.

Los evaluadores consideran que la visualización 2 es compleja, inconsistente y difícil de leer. Sin embargo, aprecian su facilidad de uso. El punto central del problema es el uso de escudos y un muro bajo para representar esta repulsión. Para la afirmación "El uso de escudos es una buena opción para representar la protección de un área", la visualización 2 obtiene una puntuación SUS de 73. Este resultado es correcto, pero no unánime. Los participantes hubieran preferido una representación más sencilla y más cercana a la realidad.

Finalmente, las visualizaciones 4 y 7 tienen puntuaciones SUS inferiores a las visualizaciones 5 y 6, incluso si las diferencias siguen siendo pequeñas. Todos están detrás por varias razones : legibilidad y complejidad. Estas visualizaciones están más cargadas de elementos, sobre todo con el paso de las máquinas. Además, su interés no fue percibido por los participantes, aunque la visualización 7 resultó relativamente interesante por su visión global.

Conferencias y talleres

Durante esta pasantía también pude asistir y participar en talleres y conferencias relacionados con el tema de mi pasantía. Estas diferentes experiencias han sido útiles y enriquecedoras, ya sea para mi misión o para mi formación en general.

Taller

Relativamente temprano durante esta misión de fin de estudios, fui invitado a participar en un taller organizado por Nicolas Barbault, estudiante de tesis en el INRAE. Su tesis se centra en particular en el estudio y la forma de diversificar eficazmente las parcelas agrícolas hacia la agrosilvicultura. A partir de simulaciones implementó un modelo de “árbol frutal” en un modelo agroforestal. El taller organizado le permitió confirmar estos resultados gracias a la opinión de expertos. Reunió a profesionales del sector y les presentó sus simulaciones y trabajos. Después de esta fase expositiva, comenzó realmente el taller. Todos se dividieron en grupos para discutir y debatir los diferentes sistemas de diversificación que les habían propuesto. Mi papel en esta fase fue el de ponente. Escribí un informe de todo lo que se había discutido dentro de mi grupo. Esta actividad me permitió situarme más en el centro de las preocupaciones del mundo agrícola y por tanto ser más eficaz y coherente en el diseño de las visualizaciones posteriores.

DigitAg

DigitAg, que como dije en la introducción, participa en la financiación de esta pasantía, me invitó a su evento anual, DigitAgora. Esta edición de 2023 se desarrolló durante 3 días y tuvo como objetivo reunir a toda la comunidad DigitAg (ver Figura 106). Este evento fue una oportunidad para debatir las ventajas y límites de la tecnología digital en la agricultura. También pude visitar la plataforma LEPSE “High-throughput Phenotyping”. Este encuentro fue también una oportunidad para reflexionar, sobre tesis y trabajos posdoctorales, pero también sobre temas más generales con numerosos ponentes.



Figura 106 : Fotografías tomadas durante DigitAgora 2023

Módulo de imagen

El módulo de imagen es un conjunto de conferencias que se celebran cada año en Montpellier y cubren buena parte de la investigación en el procesamiento de imágenes. Al participar este año en este módulo, pude capacitarme y aprender más sobre diferentes aspectos del procesamiento de imágenes.

Compuesto por 6 conferencias, los temas de este año fueron los siguientes :

- Sensores remotos,
- Aprendizaje autosupervisado y asistencia a la conducción.
- Compresión y calidad visual,
- Aprender y memorizar modelos de imágenes generativas,
- Servoservicing visual en robótica,
- Simulación de multitudes / Efectos visuales y animación 3D / síntesis.

Vínculos con la aeronáutica

La Aeronáutica, una industria en constante evolución que ha aprovechado los avances tecnológicos para mejorar el rendimiento, la seguridad y la eficiencia de sus operaciones. Entre estos avances, la realidad aumentada está demostrando ser una herramienta poderosa que transforma la forma en que los profesionales de la aviación interactúan con su entorno. Al integrar las posibilidades de la realidad aumentada, la industria aeronáutica está allanando el camino hacia nuevas perspectivas y mejoras significativas. A continuación, presentamos una breve presentación de diferentes aspectos de la aeronáutica donde ya se está probando la realidad aumentada.

Simuladores de entrenamiento y vuelo

La realidad aumentada está revolucionando la formación de pilotos creando simuladores de vuelo más inmersivos y realistas. Por ejemplo, CAE, empresa especializada en simulación y formación aeronáutica, ha desarrollado simuladores de vuelo equipados con tecnologías de realidad aumentada para proporcionar una experiencia de aprendizaje inmersiva a los pilotos en formación. Los aspirantes a pilotos pueden sumergirse en escenarios complejos y variados, como condiciones climáticas extremas o fallas de motor, para desarrollar sus habilidades de manera segura y eficiente. Las interfaces de realidad aumentada ofrecen información en tiempo real sobre parámetros de vuelo, indicadores de desempeño y procedimientos, lo que permite a los pilotos aprender en entornos virtuales altamente interactivos.

Mantenimiento y Reparaciones

En el ámbito del mantenimiento, la realidad aumentada ayuda a optimizar las operaciones proporcionando datos contextuales a los técnicos. Al inspeccionar una aeronave, los técnicos pueden usar anteojos o dispositivos portátiles que superponen información relevante directamente en los componentes de la aeronave. Esta información puede incluir diagramas, procedimientos de reparación y recordatorios de mantenimiento. Este enfoque acelera los procesos de mantenimiento y reduce los errores humanos al guiar a los técnicos en cada paso del proceso. La compañía Airbus ha experimentado con el uso de gafas de realidad aumentada para guiar a los técnicos de mantenimiento a través de procedimientos complejos y detallados, mejorando la eficiencia de las operaciones de mantenimiento.

Pantalla de navegación e información en vuelo

La realidad aumentada también se puede utilizar para mejorar la navegación en vuelo y la visualización de información crítica a los pilotos. Los sistemas de realidad aumentada pueden proyectar información de navegación, como puntos de referencia, aeropuertos y rutas de vuelo, directamente en el parabrisas de la cabina. Esto permite a los pilotos mantener su atención en el entorno exterior mientras tienen acceso a datos cruciales en tiempo real. Por ejemplo, la empresa Elbit Systems ha desarrollado un sistema de casco de realidad aumentada llamado "SkEye WAPS" que superpone información de navegación y orientación directamente en el campo de visión de los pilotos de aviones de combate.

Conclusión

Dificultades encontradas y perspectivas de mejora

En general, hemos alcanzado el objetivo de esta misión de fin de estudios. De hecho, se han imaginado y luego implementado, probado y analizado varias visualizaciones. Los resultados son muy positivos y alentadores, como hemos podido comprobar en el apartado “Resultados del análisis”. Las visualizaciones sobre la cantidad de luz en el suelo y el funcionamiento de las máquinas despertaron un gran interés entre los participantes.

En cuanto a los problemas para la realización de estas prácticas, las dificultades encontradas fueron mínimas. De hecho, durante las diferentes fases de esta misión de fin de estudios, siempre tuve la posibilidad de pedir consejo a alguien en caso de dudas o problemas.

Una dificultad importante fue la organización de los distintos talleres. De hecho, realizar las pruebas y organizar con éxito las presentaciones no fue fácil. Tuvimos que adaptarnos a la disponibilidad de todos, pero también al equipamiento.

De hecho, para las pruebas presenciales fue necesario reunir un número suficiente de tabletas y teléfonos móviles para que los candidatos pudieran manejarlos y experimentar cómodamente. Para el caso de las pruebas remotas, tuvimos que afrontar otra dificultad: cómo probar la aplicación en estas condiciones particulares. Como se explicó anteriormente en el informe, se decidió presentarles un video de mí manejando el teléfono. Sin embargo, en este caso es más complicado para el participante dar una opinión muy precisa en comparación con los demás participantes en persona.

Si además tengo que destacar alguna dificultad técnica, hablaría aquí de la forma en que se mueve el tractor. Durante la segunda fase de desarrollo, se consideró un intento de hacer que el tractor patinara de manera más realista. Desafortunadamente, debido a la falta de tiempo y a una implementación más difícil, los movimientos del tractor siguieron siendo básicos.

Otra dificultad, pero también un punto de mejora, habría sido simplificar el proyecto en Unity. De hecho, hay tantas escenas creadas en Unity como visualizaciones y ventanas que deben aparecer en pantalla en la versión final. Sin embargo, cuando se trata de visualizaciones, lo que cambia es principalmente el prefab de la que se crea una instancia, y no el resto del código. Hubiera sido mejor mejorar el código y ganar eficiencia eliminando escenas y copias innecesarias. Además, esto habría mejorado el peso del proyecto global, que al final del proyecto era relativamente imponente.

Aportes personales de la pasantía

Esta pasantía me permitió aplicar muchas habilidades adquiridas durante los últimos 3 años.

Estos 6 meses fueron una oportunidad para conocer más sobre el mundo de la realidad aumentada en general. Descubrí el software Unity, que tuve que aprender. Al estar acostumbrado en mi formación a manejar diferentes softwares, no tuve muchas dificultades para acostumbrarme a este último. Además, los cursos de C# impartidos en ESTIA me permitieron poder escribir scripts para crear visualizaciones. Disfruté progresando en C# y, en general, ganando fluidez en la programación.

Además del aspecto técnico, también es el aspecto de diseño lo que me interesó durante esta misión de fin de estudios. De hecho, como se explica en este informe, la fase de reflexión e imaginación fue una etapa clave. Varias de mis experiencias me han permitido realizar este trabajo de manera eficiente y seria. Mi trabajo en las diferentes interfaces del sitio web de investigación ESTIA, durante mi primera pasantía, me permitió diseñar

soluciones accesibles y claras. El hecho de haber tenido que gestionar un proyecto a largo plazo, durante mi segundo año de prácticas en *Bees for life*, me permitió tener una visión clara del progreso de esta prácticas y de mi organización.

Tener que trabajar en equipo en la parte de implementación de las prácticas fue muy útil para desarrollar aún más mis habilidades de comunicación y escucha. Trabajar con Gabriel fue agradable y sus consejos de programación fueron muy educativos.

Me gustó mucho trabajar en el diseño de modelos al inicio de la pasantía y luego llegar al análisis de los resultados después de las pruebas de usuario. Esto me permitió pasar por todas las etapas de creación hasta la fase de análisis de resultados post-test. Uno de los únicos puntos que puedo lamentar es el hecho de no haber podido implementar las modificaciones necesarias, por falta de tiempo, después de la fase de análisis.

Además, los diversos talleres, conferencias y otras mesas redondas fueron todo tipo de actividades muy educativas que pude realizar durante esta pasantía.

En conclusión, esta pasantía me permitió prosperar tanto a nivel profesional como personal.

Bibliografía

- [1] A. Kandil, B. Al-Jumaah, et I. Abu Doush, « Enhancing User Experience of Interior Design Mobile Augmented Reality Applications », in Proceedings of the 5th International Conference on Computer-Human Interaction Research and Applications (chira), H. P. Silva, L. Constantine, et A. Holzinger, Éd., Setubal: Scitepress, 2021, p. 101-108. doi: 10.5220/0010630400003060.
- [2] M. Leach et al., « Recreating Sheffield's Medieval Castle In Situ using Outdoor Augmented Reality », in Virtual Reality and Augmented Reality, Eurovr 2018, P. Bourdot, S. Cobb, V. Interrante, H. Kato, et D. Stricker, Éd., Cham: Springer International Publishing Ag, 2018, p. 213-229. doi: 10.1007/978-3-030-01790-3_13.
- [3] R. Napolitano, Z. Liu, C. Sun, et B. Glisic, « Combination of Image-Based Documentation and Augmented Reality for Structural Health Monitoring and Building Pathology », Front. Built Environ., vol. 5, p. 50, avr. 2019, doi: 10.3389/fbuil.2019.00050.
- [4] A. Olarnyk, « Designing for Augmented Reality », Medium, 9 février 2018. <https://blog.prototypr.io/designing-for-ar-b276c8251c20> (consultado el 12 de abril de 2023).
- [5] D. Naser Addin, « Conception d'une interface adaptative en réalité augmentée pour gérer des systèmes autonomes dans le déroulement de missions critiques », masters, Polytechnique Montréal, 2020. Consultado: 12 de abril de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://publications.polymtl.ca/5559/>
- [6] G. Kermarec, « Développement d'un système en réalité augmentée d'assistance aux opérateurs de machinerie lourde dans une cour à bois », masters, Polytechnique Montréal, 2019. Consultado: 12 de abril de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://publications.polymtl.ca/3873/>
- [7] Y. Jin, M. Ma, et Y. Zhu, « A comparison of natural user interface and graphical user interface for narrative in HMD-based augmented reality », Multimed. Tools Appl., vol. 81, no 4, p. 5795-5826, févr. 2022, doi: 10.1007/s11042-021-11723-0.
- [8] T.-H. Tsai, H.-T. Chang, M.-C. Yu, H.-T. Chen, C.-Y. Kuo, et W.-H. Wu, « Design of a Mobile Augmented Reality Application: An Example of Demonstrated Usability », in Universal Access in Human-Computer Interaction. Interaction Techniques and Environments, M. Antona et C. Stephanidis, Éd., in Lecture Notes in Computer Science. Cham: Springer International Publishing, 2016, p. 198-205. doi: 10.1007/978-3-319-40244-4_19.
- [9] P. Perea, D. Morand, et L. Nigay, « Halo3D : une Technique pour Visualiser les Points d'Intérêt Hors-Champ en Réalité Augmentée Mobile », presentado en la 29ª conferencia francófona sobre interacción persona-computadora, ACM, août 2017, p. 10 p. doi: 10.1145/3132129.3132144.
- [10] M. Martinez Zarzuela, F. J. Diaz Pernas, L. Barroso Martinez, D. Gonzalez Ortega, et M. Anton Rodriguez, « Mobile Serious Game using Augmented Reality for Supporting Children's Learning about Animals », in 2013 International Conference on Virtual and Augmented Reality in Education, J. MartinGutierrez et E. Ginters, Éd., Amsterdam: Elsevier Science Bv, 2013, p. 375-381. doi: 10.1016/j.procs.2013.11.046.

Índice de figuras

Figura 1 : Ejemplo de parcela agroforestal	8
Figura 2 : Ejemplo de uso de realidad aumentada	8
Figura 3 : Diagrama que resume la supervisión de AMAP	9
Figura 4 : Interfaz del juego Pokémon Go	11
Figura 5 : Ejemplo de uso de realidad aumentada para filtros	12
Figura 6 : La interfaz de la aplicación IKEA Place	12
Figura 7 : Primera aplicación creada por Kandil.....	13
Figura 8 : Segunda aplicación creada por Kandil.....	14
Figura 9 : Interfaz de Google Lens.....	15
Figura 10 : Interfaz de arte y cultura.....	15
Figura 11 : Google maps en realidad aumentada	15
Figura 12 : Tableta de realidad aumentada del castillo de Chambord.....	16
Figura 13 : Tableta de Realidad Aumentada en la Exposición Tutankamón de Madrid..	16
Figura 14 : Castillo de Sheffield en realidad aumentada	16
Figura 15 : Interfaz creada por Napolitano.....	17
Figura 16 : Imágenes del planificador de la misión y visualización de la trayectoria del enjambre.	18
Figura 17 : Indicación visual de que la pila de destino está llena.....	18
Figura 18 : Un paquete seleccionable en la fila activa se resalta cuando la mirada del usuario está sobre él.....	18
Figura 19 : Menú circular.....	18
Figura 20 : Ejemplo de escenas guionadas en realidad aumentada.....	19
Figura 21 : Interfaz creada en el artículo (Tsai et al. 2016)	19
Figura 22 : Interfaz creada por Perea	20
Figura 23 : Serious Game creado por la Universidad de Valladolid.....	20
Figura 24 : Imagen del juego Cities Skylines (construcción de carreteras)	21
Figura 25 : Imagen del juego Cities Skylines (construcción de carreteras imposibles)....	21
Figura 26 : Imagen del juego Cities Skylines (nueva construcción de carreteras imposibles)	22
Figura 27 : Imagen del juego Cities Skylines (construcción de un edificio)	22
Figura 28 : Imagen del juego Cities Skylines (construcción de un edificio sobre el agua)	22
Figura 29 : Imagen del juego Cities Skylines (Construyendo una estación de bomberos)	22
Figura 30 : Ejemplo de juegos desarrollados en Unity	25
Figura 31 : Interfaz de Unity con rectángulos de colores para separar ventanas	25
Figura 32 : Ventana "Hierarchy" de Unity.....	26
Figura 33 : Ventana "Scene View" de Unity	26
Figura 34 : Ventana "Inspector" de Unity	27
Figura 35 : Ventana "Project" de Unity.....	27
Figura 36 : Interfaz del software Zotero	28
Figura 37 : Interfaz de GitHub Desktop	28
Figura 38 : Interfaz de Paint 3D.....	29
Figura 39 : Ejemplo de diapositivas presentadas antes de las pruebas	30
Figura 40 : Les 10 affirmations du questionnaire SUS	31
Figura 41 : "Acceptability score" del SUS	32
Figura 42 : Ejemplo de tonos de color aplicados a la agricultura o al clima.....	33
Figura 43 : Visualización final "Cantidad de luz en el suelo"	34
Figura 44 : Visualización final "Pasaje de máquinas"	35
Figura 45 : 3 ideas diferentes para "Repulsión de plagas"	35
Figura 46 : Visualización final "Repulsión de plagas"	36
Figura 47 : Interfaz diseñada para visualización "Pasaje de máquinas"	37

Figura 48 : Imagen de la aplicación antes de crear la parcela.....	39
Figura 49 : Degradado de color creado en Paint 3D.....	39
Figura 50 : El proyecto Unity durante la creación de la parcela "Cantidad de luz"	39
Figura 51 : Ubicación de los "botones" en Unity	40
Figura 52 : Primera versión de la parcela "Cantidad de luz" en realidad aumentada.....	40
Figura 53 : Creación del camino de los escudos en Unity	41
Figura 54 : Extracto del script que gestiona el movimiento de escudos	41
Figura 55 : Escudos en azul, blanco y rojo para ayudar al desarrollo.....	42
Figura 56 : Primera versión de la visualización "Repelente de plagas" en realidad aumentada.....	42
Figura 57 : Evolución del aspecto del menú durante el desarrollo	42
Figura 58 : Extracto del script que gestiona el menú	43
Figura 59 : Primera versión de la combinación "Cantidad de luz en el suelo" y "Repelencia de plagas" en realidad aumentada	43
Figura 60 : Nueva textura realizada en Paint 3D	44
Figura 61 : Primera versión de la combinación "Cantidad de luz en el suelo" y "Pasaje de máquinas" en realidad aumentada	44
Figura 62 : Primera versión en realidad aumentada de la combinación de las 3 visualizaciones.....	44
Figura 63 : Editando la textura	45
Figura 64 : Nueva textura aplicada a la parcela, con una primera leyenda.....	45
Figura 65 : Estados de diferentes visualizaciones despues de esta primera fase de desarrollo	45
Figura 66 : Diseño del nuevo modelo de tractor elegido.....	46
Figura 67: Neuvo tractor en la "hierarchy" Unity	46
Figura 68 : Extracto del script que gestiona la apariencia del tractor.....	47
Figura 69 : Evolución del diseño de los botones "añadir tractor"	47
Figura 70 : Las 3 nuevas ventanas creadas en esta segunda fase de desarrollo	47
Figura 71 : Extracto del script gestionando las escenas.....	48
Figura 72 : Nuevas texturas para "Cantidad de luz en el suelo"	48
Figura 73 : Los 3 nuevos materiales creados para la "Cantidad de luz en el suelo"	48
Figura 74 : Extracto del código que gestiona el control deslizante de crecimiento	49
Figura 75 : Extracto del código que gestiona el cambio de tamaño de los árboles	49
Figura 76 : Cambios de código para cambiar la textura del suelo	50
Figura 77 : Representación final de los 3 tamaños de árboles y 3 texturas de suelo diferentes	50
Figura 78 : Nuevo prefab compuesto exclusivamente por paredes y escudos	50
Figura 79 : Definición de los diferentes GameObjects necesarios.....	51
Figura 80 : Méthode SpawnPrefab.....	51
Figura 81 : Visual final de los tres tamaños de árboles y zona de repulsión.....	51
Figura 82 : Los 3 nuevos bucles if creados para gestionar la apariencia de los escudos...	51
Figura 83 : Diseño final de la interfaz de visualización 4.....	52
Figura 84 : Promedio y mediana de las puntuaciones SUS para cada visualización.....	55
Figura 85 : Clasificación de visualizaciones por mediana SUS	56
Figura 86 : Diagrama de caja de puntuaciones SUS para cada visualización	56
Figura 87 : Número de menciones para cada visualización a la pregunta "¿Qué visualizaciones crees que son realmente procesables y utilizables como herramienta en el futuro?" »	57
Figura 88 : Código de color utilizado para cada visualización	58
Figura 89 : Tabla resumen de las clasificaciones de los participantes.....	58
Figura 90 : Gráfico de duelos.....	58
Figura 91 : Tabla de duelos.....	58
Figura 92 : Tabla de duelos con la fuerza de los duelos	59

Figura 93 : Gráfico de duelos con fuerza de duelos	59
Figura 94 : Tabla de duelos con caminos de fuerza	59
Figura 95 : Clasificación final de las 4 combinaciones	60
Figura 96 : Resultados de las 3 afirmaciones positivas para cada visualización.....	60
Figura 97 : Resultados de las 2 afirmaciones negativas para cada visualización	62
Figura 98 : Resultados de las preguntas cerradas del cuestionario 3	64
Figura 99 : Puntuaciones de cada combinación para declaraciones no SUS	65
Figura 100 : Resultados de la pregunta “El código de color utilizado (de azul a rojo) es una buena elección de representación”	66
Figura 101 : Resultados a la pregunta "El uso de escudos es una buena opción para representar la protección de una zona"	66
Figura 102 : Diagrama realizado por uno de los participantes.....	67
Figura 103 : Resultados de la pregunta "El color de los símbolos de escudos y las paredes es una buena elección de representación".....	67
Figura 104 : Repartición de los temas de comentarios en todas las visualizaciones	69
Figura 105 : Tabla resumen de las ideas más presentes entre todas las visualizaciones	70
Figura 106 : Fotografías tomadas durante DigitAgora 2023	72

Anexos

Anexo 1 : Extracto del cuestionario n° 1

Questionnaire n°1 : Quantité de lumière au sol

Comment avez-vous expérimenté la démo ?

En regardant une vidéo / En manipulant directement via une tablette ou un téléphone



	<i>Pas du tout d'accord</i>	<i>Pas d'accord</i>	<i>Ni d'accord ni pas d'accord</i>	<i>D'accord</i>	<i>Tout à fait d'accord</i>
Les zones recevant peu de lumière sont facilement différenciables des zones en recevant fortement					
Le code couleur utilisé (bleu au rouge) est un bon choix de représentation					
Afficher les arbres en blanc permet de voir plus clairement l'information					
Je voudrais utiliser cet outil fréquemment					
Cet outil est inutilement complexe					
Cet outil est facile à utiliser					
Il y a trop d'incohérences dans cette visualisation					
La lisibilité globale de cette visualisation est bonne					
Le fait de pouvoir modifier la taille des arbres apporte une plus-value intéressante sur cette visualisation					

Avez-vous des propositions d'améliorations ? Remarques ?

Anexo 2 : Extracto del cuestionario n° 2

Questionnaire n°2 : Répulsion des ravageurs

Comment avez-vous expérimenté la démo ?

En regardant une vidéo / En manipulant directement via une tablette ou un téléphone

	<i>Pas du tout d'accord</i>	<i>Pas d'accord</i>	<i>Ni d'accord ni pas d'accord</i>	<i>D'accord</i>	<i>Tout à fait d'accord</i>
Les zones de répulsion sont facilement identifiables					
Je voudrais utiliser cet outil fréquemment					
Cet outil est inutilement complexe					
Cet outil est facile à utiliser					
Il y a trop d'incohérences dans cette visualisation					
La lisibilité globale de cette visualisation est bonne					
L'utilisation de boucliers est bon choix pour représenter la protection d'une zone					
Le fait que les boucliers tournent autour de la zone aide à délimiter clairement la zone					
Le fait de délimiter la zone protégée par des murs est utile					
Les boucliers ont une taille idéale (assez visible mais pas imposante)					
La couleur des symboles de bouclier et des murs est un bon choix de représentation					
Le fait de pouvoir modifier la taille des arbres apporte une plus-value intéressante sur cette visualisation					

Avez-vous des propositions d'améliorations ? Remarques ?

Questionnaire n°3 : Le passage des machines

Comment avez-vous expérimenté la démo ?

En regardant une vidéo / En manipulant directement via une tablette ou un téléphone

Questions

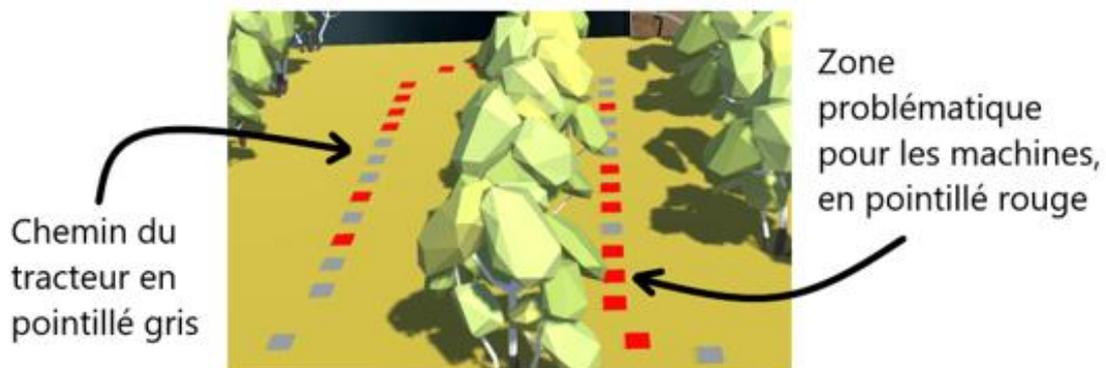
1) Avez-vous identifié le chemin du tracteur ?

- OUI
- NON

2) Avez-vous identifié des zones problématiques pour les machines ?

- OUI
- NON

Explication :



3) Avez-vous, vous-même, déplacé le tracteur sur la parcelle, sans utiliser le bouton play/pause ? **(Inutile de répondre si vous avez seulement regardé une vidéo)**

- OUI
- NON

4) Avez-vous vu passer le tracteur sur une zone problématique où il ne passait pas ?

- OUI
- NON



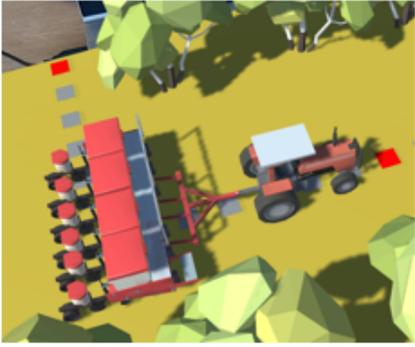
Tracteur positionné sur son chemin sur l'image de droite et sur une zone où il ne passe pas sur l'image de gauche.

5) Avez-vous modifié la taille des arbres via le curseur "croissance" à gauche de l'écran ? **(Inutile de répondre si vous avez seulement regardé une vidéo)**

- OUI
- NON

6) Que pensez-vous des éléments visuels utilisés ?

Affirmations

	<i>Pas du tout d'accord</i>	<i>Pas d'accord</i>	<i>Ni d'accord ni pas d'accord</i>	<i>D'accord</i>	<i>Tout à fait d'accord</i>
Le chemin du tracteur est bien visible.					
Les zones où le tracteur ne passe pas sont localisables facilement sur l'écran					
Le fait de pouvoir librement déplacer le tracteur dans la scène apporte une plus-value					
Le fait que le tracteur avance automatiquement en suivant l'itinéraire technique apporte une plus-value					
Afficher les arbres en rouge est une bonne manière de voir le passage bloquant pour la machine					
Afficher le véhicule en rouge est une bonne manière de voir le passage bloquant pour la machine					
Afficher le chemin du tracteur est nécessaire					
Je voudrais utiliser cet outil fréquemment					
Cet outil est inutilement complexe					
Cet outil est facile à utiliser					
Il y a trop d'incohérences dans cette visualisation					

La lisibilité globale de cette visualisation est bonne					
Le fait de pouvoir changer la taille de l'outil derrière le tracteur apporte une plus-value intéressante					
Le fait de pouvoir mettre en pause le mouvement du tracteur est intéressant					
Le fait de pouvoir modifier la taille des arbres apporte une plus-value intéressante sur cette visualisation					

Avez-vous des propositions d'améliorations ? Remarques ?

Anexo 4 : Extracto del cuestionario n° 4

Questionnaire n°4 : Machine + Lumière

Comment avez-vous expérimenté la démo ?

En regardant une vidéo / En manipulant directement via une tablette ou un téléphone

	<i>Pas du tout d'accord</i>	<i>Pas d'accord</i>	<i>Ni d'accord ni pas d'accord</i>	<i>D'accord</i>	<i>Tout à fait d'accord</i>
Je voudrais utiliser cet outil fréquemment					
Cet outil est inutilement complexe					
Cet outil est facile à utiliser					
Il y a trop d'incohérences dans cette visualisation					
La lisibilité globale de cette visualisation est bonne					
Cette visualisation permet de mettre en lumière des interactions intéressantes entre "le passage des machines" et "la quantité de lumière au sol"					
Le fait de pouvoir modifier la taille des arbres, permet d'observer toutes les interactions possibles entre les différentes représentations					

Avez-vous des propositions d'améliorations ? Remarques ?

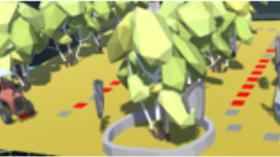
Anexo 5 : Extracto del cuestionario n° 5

Questionnaire n°5 : Machine + Répulsion

Comment avez-vous expérimenté la démo ?

En regardant une vidéo / En manipulant directement via une tablette ou un téléphone

+

	<i>Pas du tout d'accord</i>	<i>Pas d'accord</i>	<i>Ni d'accord ni pas d'accord</i>	<i>D'accord</i>	<i>Tout à fait d'accord</i>
Je voudrais utiliser cet outil fréquemment					
Cet outil est inutilement complexe					
Cet outil est facile à utiliser					
Il y a trop d'incohérences dans cette visualisation					
La lisibilité globale de cette visualisation est bonne					
Cette visualisation permet de mettre en lumière des interactions intéressantes entre "le passage des machines" et "les zones de répulsion des ravageurs"					
Le fait de pouvoir modifier la taille des arbres, permet d'observer toutes les interactions possibles entre les différentes représentations					

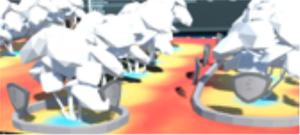
Avez-vous des propositions d'améliorations ? Remarques ?

Anexo 6 : Extracto del cuestionario nº 6

Questionnaire nº6 : Lumière + Répulsion

Comment avez-vous expérimenté la démo ?

En regardant une vidéo / En manipulant directement via une tablette ou un téléphone

	<i>Pas du tout d'accord</i>	<i>Pas d'accord</i>	<i>Ni d'accord ni pas d'accord</i>	<i>D'accord</i>	<i>Tout à fait d'accord</i>
Je voudrais utiliser cet outil fréquemment					
Cet outil est inutilement complexe					
Cet outil est facile à utiliser					
Il y a trop d'incohérences dans cette visualisation					
La lisibilité globale de cette visualisation est bonne					
Cette visualisation permet de mettre en lumière des interactions intéressantes entre "la quantité de lumière au sol" et "les zones de répulsion des ravageurs"					
Le fait de pouvoir modifier la taille des arbres, permet d'observer toutes les interactions possibles entre les différentes représentations					

Avez-vous des propositions d'améliorations ? Remarques ?

Anexo 7 : Extracto del cuestionario n° 7

Questionnaire n°7 : Machine + Lumière + Répulsion et Bilan

Comment avez-vous expérimenté la démo ?

En regardant une vidéo / En manipulant directement via une tablette ou un téléphone

	<i>Pas du tout d'accord</i>	<i>Pas d'accord</i>	<i>Ni d'accord ni pas d'accord</i>	<i>D'accord</i>	<i>Tout à fait d'accord</i>
Je voudrais utiliser cet outil fréquemment					
Cet outil est inutilement complexe					
Cet outil est facile à utiliser					
Il y a trop d'incohérences dans cette visualisation					
La lisibilité globale de cette visualisation est bonne					
Cette visualisation permet de mettre en lumière des interactions intéressantes entre "le passage des machines", "les zones de répulsion des ravageurs" et "la quantité de lumière au sol"					
Le fait de pouvoir modifier la taille des arbres, permet d'observer toutes les interactions possibles entre les différentes représentations					

Avez-vous des propositions d'améliorations ? Remarques ?

Questions Bilan

- 1) Quelles visualisations vous semblent réellement exploitables et utilisables en tant qu'outil à l'avenir ?

Cochez les visualisations en question :

- Machine – Lumière
- Machine – Répulsion
- Lumière – Répulsion
- Machine – Lumière - Répulsion

- 2) Organisez les différentes représentations visuelles de la moins appréciée à votre favorite en attribuant un chiffre de 1 à 4 (où 4 représente la visualisation la moins satisfaisante et 1 celle que vous préférez).

Machine + Lumière	Machine + Répulsion	Lumière + Répulsion	Machine + Lumière + Répulsion
			

3)

	<i>Pas du tout d'accord</i>	<i>Pas d'accord</i>	<i>Ni d'accord ni pas d'accord</i>	<i>D'accord</i>	<i>Tout à fait d'accord</i>
Mon intérêt concernant la visualisation des services écosystémiques, via toutes ces visualisations, est fort					

Avez-vous, sur l'ensemble des visualisations présentées, des propositions d'améliorations ?
Remarques ?