

Projet de fin d'étude

Outil interactif de visualisation d'eau en Réalité Augmentée



— Mémoire —

Étudiants :

Zoé DEBATY
Antoine DEYNOUX
Christophe GAYDIER
Lucas MIREMONT

Clients :

Mme. Ambre ASSOR
M. Martin HACHET

28 mars 2022

Remerciements

Nous tenions en préambule à remercier nos clients Ambre Assor et Martin Hachet qui nous ont rencontrés toutes les semaines pour nous faire leurs retours sur l'avancement du projet, nous conseiller et nous préciser les idées qu'ils se faisaient de l'application. Nous remercions aussi Arnaud Prouzeau qui, même sans être notre client, a participé à plusieurs des rendez-vous, a pu répondre à nos questions techniques sur Unity et nous conseiller notamment pour la création de l'étude de l'expérience utilisateur que nous avons mené en fin de projet.

Merci également à Pascal Desbarats qui nous a suivis tout au long de ce projet par l'intermédiaire de l'Unité d'Enseignement Méthode et Outils pour la Conduite de Projets Informatique, et nous a donné des conseils sur la gestion du projet ainsi que sur la Réalité Augmentée et Unity.

Enfin, nous remercions toutes les personnes qui ont testé l'application et qui nous ont fait part de leur expérience et de leurs suggestions d'améliorations.

Sans toutes ces personnes, le projet décrit dans ce mémoire n'aurait pas été aussi abouti.

Table des matières

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | Introduction | 4 |
| 1.1 | Enjeux environnementaux | 4 |
| 1.2 | Historique de la Réalité Augmentée | 4 |
| 1.3 | Contexte du sujet | 7 |
| 1.4 | Sujet | 7 |
| 2 | Analyse de l'existant | 8 |
| 2.1 | Pokémon GO | 8 |
| 2.2 | IKEA Place | 8 |
| 2.3 | EDF et les panneaux solaires | 9 |
| 2.4 | nOaks | 10 |
| 2.5 | Autres utilisations | 10 |
| 3 | Scénarios d'utilisation de l'appliation | 13 |
| 4 | Besoins et tests | 13 |
| 4.1 | Besoins fonctionnels | 13 |
| 4.2 | Besoins non-fonctionnels | 14 |
| 4.3 | Tests | 14 |
| 5 | Choix Techniques | 16 |
| 6 | Architecture | 17 |
| 6.1 | Diagramme de classe | 17 |
| 6.2 | Diagramme de séquence | 18 |
| 6.3 | Descriptions de la structure du projet Unity | 19 |

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 7 | Réalisation | 21 |
| 7.1 | S.U.1 : L'utilisateur visualise sa consommation d'eau (sur une durée prédéfinie par l'utilisateur) grâce à un volume dans l'espace en réalité augmentée spatiale. | 21 |
| 7.2 | S.U.2 : L'utilisateur visualise la composition de sa consommation d'eau (douche, bain, vaisselle, lave-vaisselle, lave-linge, chasse d'eau). | 24 |
| 7.3 | S.U.3 : L'utilisateur visualise les valeurs par défaut de consommation d'eau dans un foyer. | 26 |
| 7.4 | Tutoriel et message d'erreur | 28 |
| 8 | Résultats des tests | 31 |
| 8.1 | Tests des besoins fonctionnels | 31 |
| 8.2 | Tests des besoins non-fonctionnels | 32 |
| 9 | Organisation du projet | 37 |
| 9.1 | Organisation interne | 37 |
| 9.2 | Organisation avec les clients | 37 |
| 9.3 | Organisation avec le chargé de TD | 37 |
| 9.4 | Diagramme de Gantt | 38 |
| 10 | Conclusion | 41 |
| 10.1 | Limitations | 41 |
| 10.2 | Discussion | 41 |
| 10.3 | Bilan et perspectives | 42 |
| 11 | Bibliographie | 43 |
| A | Annexe - Questions de l'enquête | 44 |
| B | Annexe - Réponses de l'enquête | 47 |
| C | Diagramme de classe | 66 |

1 Introduction

1.1 Enjeux environnementaux

L'eau est une ressource nécessaire à la vie. Sur Terre, seulement 1% de la quantité totale d'eau est disponible pour l'Homme. Il est primordial de la préserver. Pour permettre de garder un équilibre écologique, l'Humanité se doit de faire attention à sa consommation en eau. C'est dans ce but qu'en 1993, l'ONU instaure la journée mondiale de l'eau.

Dans un ménage français, l'OMS estime que 59% de la consommation d'eau proviendrait des bains, des douches et des sanitaires (voir Fig 1) [10]. Nous voyons que seulement 7% de la consommation totale du foyer est utilisée pour l'alimentation. Ces données sont frappantes, mais de nombreuses solutions existent pour diminuer notre consommation d'eau comme l'installation de pommeaux de douche économiques, la réparation des fuites ou encore la diminution de l'eau quand on tire la chasse dans les toilettes.

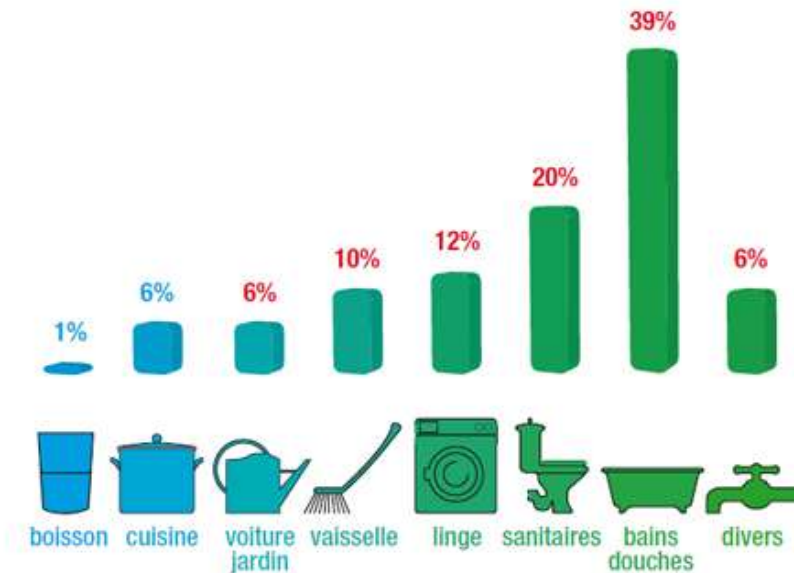


FIGURE 1 – Schéma de la répartition de la consommation moyenne d'eau pour un ménage français.
source : cieau.com

Cependant, il est souvent très difficile de se représenter, dans l'espace, sa consommation en eau lors de l'utilisation d'un lave-vaisselle ou d'un bain par exemple. La préservation de l'eau et de l'environnement doit passer par une prise de conscience de tout un chacun et c'est dans cette optique que notre projet sur la visualisation de la consommation d'eau en Réalité Augmentée a vu le jour.

1.2 Historique de la Réalité Augmentée

En 1968, Ivan Sutherland établit les fondements de la Réalité Virtuelle et Augmentée en créant le premier dispositif permettant de voir un cube en 3D dans une scène réelle. Un casque avec des

lentilles, relié à un ordinateur, est placé devant un utilisateur et lui permet de voir ce cube avec différents angles suivant ses mouvements de têtes [4].



FIGURE 2 – Premier dispositif pour la Réalité Augmentée
source : fr.atomicdigital.design

Grâce à cet exemple, nous pouvons définir ce qu'est la **Réalité Augmentée (RA)** comme étant : *une technologie qui permet de superposer une couche d'éléments virtuels sur une scène réelle*. Contrairement à la Réalité Virtuelle, la Réalité Augmentée ne vise pas à se substituer du monde réel mais plutôt de créer une façon intuitive, et plus facile à appréhender, des interfaces virtuelles [12].

Cependant, aujourd'hui, plusieurs définitions qui précisent la notion de Réalité Augmentée existent. Par exemple, on définira ici la **Réalité Augmentée simple** comme une couche virtuelle sur du réel ; la **Réalité Augmentée spatiale** qui introduit le fait qu'un élément placé a un endroit fixe dans l'espace ne se déplace pas avec l'utilisateur et la **Réalité Augmentée mixte** qui, quant-à elle, ajoute une interaction directe avec cet objet (sans avoir besoin d'outil intermédiaire). Il faut souligner que ce ne sont pas des définitions officielles des différents types de Réalité Augmentée (qui sont souvent regroupées au sein d'un seul terme de "Réalité Augmentée" sans distinction supplémentaire).

Dans les années 1980, cette technologie est principalement utilisée par l'armée afin de rajouter une surcouche d'information au travers d'un écran transparent (voir figure 3). La NASA a ensuite travaillé sur des casques de Réalité Augmentée. Dans les années 1990, cette technologie se développe dans l'industrie et notamment dans l'aéronautique (voir figure 4) [9].



FIGURE 3 – HUD d'un avion de guerre.



FIGURE 4 – Casque de Réalité Augmentée de la Nasa.

source : artefacto-ar.com

L'arrivée des smartphones et le développement d'ARKit¹ par Apple et d'ARCore² par Google ont permis de révolutionner le domaine de la Réalité Augmentée (voir Fig. 5). Ces nouveaux systèmes de Réalité Augmentée sont disponibles sur la plupart des smartphones récents. Les utilisateurs peuvent désormais, uniquement avec leur téléphone, placer des éléments 3D dans leur pièce, préalablement scannée. Ces technologies sont dorénavant accessibles au grand public grâce à leur facilité d'utilisation sur smartphone. Le fait de ne pas avoir à se munir d'un appareil dédié à la Réalité Augmentée, parfois très coûteux, permet une large diffusion de ce dispositif, plus simple et efficace.

1. developer.apple.com/augmented-reality/

2. developers.google.com/ar

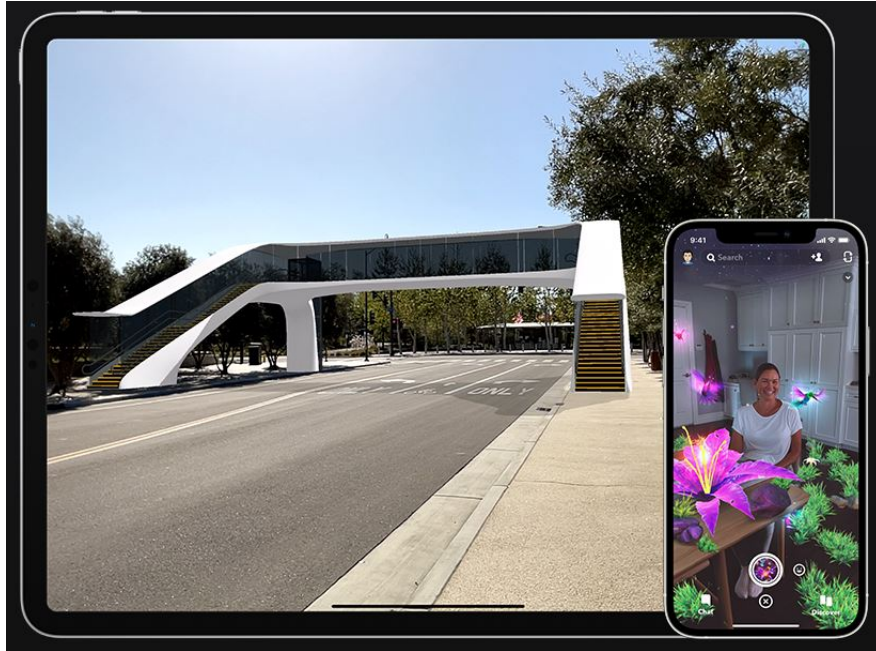


FIGURE 5 – ARKit par Apple.
source : developer.apple.com

1.3 Contexte du sujet

De nos jours, les deux plus gros secteurs d'utilisation de Réalité Augmentée sont l'éducation/la formation, ainsi que l'assistance à la réalisation de tâches. L'équipe de recherche Potioc (Inria - Labri) essaie d'explorer de nouvelles pistes qui permettraient de nouvelles formes d'interactions telles que la conception et l'évaluation d'Avatars Hybrides ou encore la visualisation de sa consommation en eau en Réalité Augmentée [5]. Grâce à ce type de technologies, l'équipe de recherche tente de mettre en évidence des données non visibles et difficiles à se représenter pour permettre de sensibiliser les utilisateurs, notamment sur des enjeux environnementaux.

1.4 Sujet

Dans ce projet, le but est de permettre aux utilisateurs de visualiser, en Réalité Augmentée, leur consommation d'eau. Cet outil permettra de représenter un volume d'eau réaliste, dans un espace manuellement défini par l'utilisateur, qui correspond à une quantité consommée sur une période d'un jour, d'une semaine, d'un mois ou d'un an. Il est question de concevoir une application ludique pour inciter l'utilisateur à réutiliser l'application dans son quotidien.

2 Analyse de l'existant

2.1 Pokémon GO

En juillet 2016, la Réalité Augmentée a été grandement mise en avant grâce au lancement de **Pokémon GO**. Dans cette application, le joueur peut notamment capturer des Pokémon rendus en Réalité Augmentée pour pouvoir agrandir sa collection [2] (voir Figure 6). En moins d'un mois, du fait de sa gratuité et de la licence Pokémon, l'application a comptabilisé plus de 100 millions de téléchargements sur iOS et Android.

Ici, Pokémon GO et la Réalité Augmentée ont révolutionné le monde du jeu vidéo. C'est dans ce contexte que naissent de nombreuses autres applications en Réalité Augmentée : « Civilisations AR » ou « Harry Potter : Wizards Unite » par exemple.



FIGURE 6 – Pokémon GO : le jeu Pokémon en Réalité Augmentée.

source : www.actugaming.net

2.2 IKEA Place

En 2017, IKEA lance **IKEA Place**, une application pour visualiser en Réalité Augmentée les produits de leur catalogue (voir figure 7). L'application permet de placer virtuellement dans sa pièce des meubles IKEA afin d'avoir un aperçu du rendu final. Les meubles sont de bonnes proportions et ils semblent même très fidèles grâce au rendu des matériaux et les ombres dû à la lumière de la pièce. Cela permet d'économiser du temps mais surtout d'éviter des achats inutiles et des trajets pour aller voir le produit en magasin. Tout d'abord disponible sur iOS avec la technologie ARKit [11] ; l'application est aussi devenue disponible sur Android grâce à la plateforme ARCore de Google [6].



FIGURE 7 – IKEA Place : une nouvelle façon de consommer.
source : fr.media.ikea.ch

2.3 EDF et les panneaux solaires

En 2018, la branche **Recherche & Développement d'EDF** développe un prototype d'outil permettant de simuler la mise en place de panneaux solaires (voir figure 8). L'utilisateur peut obtenir un rapport complet sur sa future potentielle production d'électricité. Les résultats des utilisateurs est encourageant pour un développement approfondi de cet outil [7].

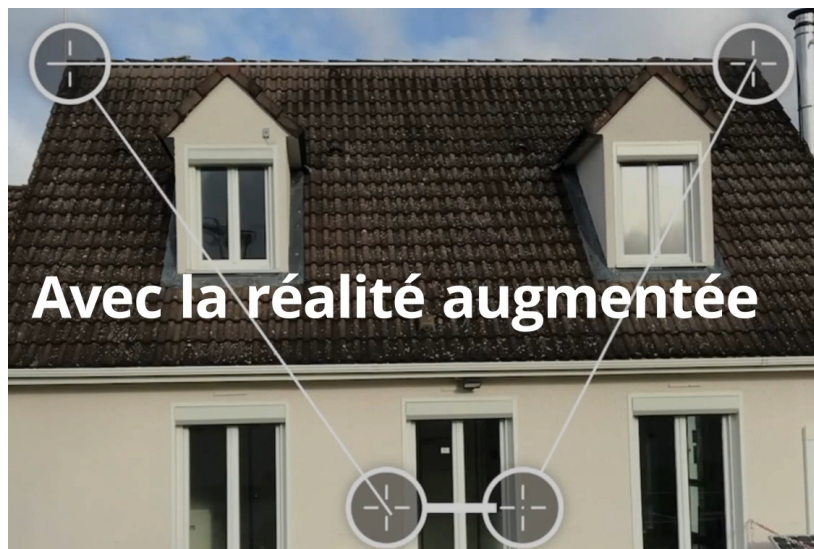


FIGURE 8 – Une prévisualisation de ses futurs panneaux solaires.
source : EDF

2.4 nOaks

En 2020, Tess Elliot crée **nOaks**, une application en Réalité Augmentée permettant de faire revivre à travers l'écran de son smartphone 30 lieux autour d'Oklahoma City aux écosystèmes disparus (voir figure 9). Le but est de donner l'illusion de se déplacer dans une forêt avec toute sa végétation. La créatrice souhaitait que le monde prenne conscience des espaces disparus de la région tout en valorisant l'écologie indigène [1].



FIGURE 9 – Recréation d'un écosystème.
source : chaîne YouTube de Tess Elliott

2.5 Autres utilisations

Aujourd'hui, la Réalité Augmentée est utilisée dans plusieurs autres domaines, comme par exemple [9] :

- **l'immobilier et la construction** : les utilisateurs peuvent obtenir une vue 3D d'un plan de construction ou encore voir en temps réel le résultat final d'une construction en chantier.
- **l'industrie** : les ouvriers peuvent mieux appréhender le fonctionnement des machines et/ou représenter virtuellement une pièce pour l'usiner au mieux.

- **le tourisme** : par exemple dans les musées, la Réalité Augmentée peut servir d’outil pédagogique en rajoutant des informations, des personnages ou encore des points d’intérêts pour enrichir les visites.

La majorité des projets de sensibilisation à la préservation de l’environnement sont en Réalité Virtuelle. Le projet « Tree VR » vise à sensibiliser le public à la déforestation. En Réalité Virtuelle, l’utilisateur se met à la place d’un arbre tout au long de sa vie, jusqu’à sa mort³.



FIGURE 10 – Tree VR : Une expérience VR pour prendre conscience de l’importance de la préservation de l’environnement.

sources : winners.webbyawards.com (image en haut) et blog.vive.com (image en bas)

La Réalité Virtuelle permet aussi d’avoir une autre approche en terme d’éducation. Elle permet d’utiliser des méthodes impossibles à mettre en place dans le monde réel [3]. De nombreux groupes de recherches essaient d’étudier le potentiel de la Réalité Augmentée pour sensibiliser la population à diverses problèmes actuels. Notre projet s’inscrit parfaitement dans cette lignée de projets qui essaient de voir et de mettre en place des applications en Réalité Augmentée au service de la

3. www.treeofficial.com/

sensibilisation à l'écologie.

3 Scénarios d'utilisation de l'applciation

Les scénarios d'utilisation de l'application explicitent de façon non formelle les différents groupes d'actions que l'utilisateur peut faire à l'aide de notre application.

Les scénarios présentés ci-dessous ont été définis avec nos clients au début du projet et ils ont évolué dans leurs détails au fur et à mesure des rendez-vous que nous avons eus avec eux ainsi qu'en fonction de l'avancée du développement de l'application.

1. S.U.1 : L'utilisateur visualise sa consommation d'eau (sur une durée prédéfinie par l'utilisateur) grâce à un volume dans l'espace en réalité augmentée spatiale.
2. S.U.2 : L'utilisateur visualise la composition de sa consommation d'eau (douche, bain, vaisselle, lave-vaisselle, lave-linge, chasse d'eau).
3. S.U.3 : L'utilisateur visualise les valeurs par défaut de consommation d'eau dans un foyer.

4 Besoins et tests

4.1 Besoins fonctionnels

Dessiner un maillage en Réalité Augmentée

- Détecter automatiquement les surfaces d'une pièce à partir des données récupérées avec les capteurs du téléphone.
- Récupérer les coordonnées des points placés sur une surface du monde réel.
- Tracer des segments à partir des coordonnées des points placés.
- Affichage en temps réel les segments du maillage pendant sa création.
- Créer un menu de gestion du maillage avec un bouton de création et de validation du maillage.

Récupérer les paramètres donnés par l'utilisateur

- Créer une fenêtre pour que l'utilisateur remplisse les informations sur sa consommation d'eau sur une semaine, modifie l'échelle temporelle de sa consommation, qu'il saisisse une valeur arbitraire en litre.
- Récupérer les paramètres donnés par l'utilisateur sur la fenêtre liée à sa consommation d'eau.
- Transformer ces quantités d'eau en volume d'eau.
- Créer un bouton pour décomposer le volume d'eau.
- Récupérer l'état du bouton de décomposition d'eau.
- Créer un bouton pour réinitialiser la hauteur du volume d'eau.
- Récupérer l'état du bouton de réinitialisation de la hauteur du volume.
- Créer une fenêtre pour que l'utilisateur valeurs de références.

Afficher un volume d'eau animé et texturé

- Positionner un volume sur un maillage défini en Réalité Augmentée spatiale.
- Appliquer un shader d'eau au volume.

Faire varier la hauteur du volume d'eau en fonction des paramètres donnés

- Afficher le volume de hauteur égale aux paramètres dans l'application.

Décomposer le volume d'eau en fonction des paramètres donnés

- Représenter chaque paramètre de consommation d'eau par un maillage avec une couleur distincte.
- Afficher sur l'écran du téléphone une légende de la signification des couleurs.

Afficher un volume d'eau animé et texturé en fonction de valeurs de références

- Afficher les volumes d'eau en litre pour l'utilisateur.
- Créer une fenêtre pour que l'utilisateur sélectionne une valeur de référence parmi une liste.
- Récupérer les informations pour la valeur sélectionnée.
- Afficher le volume de hauteur égale aux paramètres saisis dans l'application.

4.2 Besoins non-fonctionnels

Performance

- L'application doit être assez performante pour avoir un rendu qui s'approche de 30 images par seconde.

Réalisme

- L'animation du volume d'eau et le rendu de l'eau doit être le plus réaliste possible.

Ergonomie et facilité d'utilisation

- La prise en main de l'application ne doit pas poser problème pour une personne extérieure au projet.
- Une différence doit être visible à l'oeil nu entre les différents paramétrages possibles de l'application.

Compatibilité

- L'application développée devra être utilisable sur les appareils fonctionnant sur Android et IOS qui sont compatibles avec ARCore (pour Android) ou ARKit (pour IOS).

Sensibilisation

- L'utilisation de l'application devra avoir un impact sur la consommation d'eau de l'utilisateur.

4.3 Tests

Test des besoins fonctionnels :

Afin de tester les besoins fonctionnels, nous avons procédé à deux types de test différents :

Tests fonctionnels : Tout au long du développement nous avons validés les différents besoins fonctionnels par divers tests fonctionnels avec les clients.

Tests unitaires : Afin de vérifier la bonne implémentation des besoins fonctionnels, le code sera couvert par des tests unitaires.

Test des besoins non-fonctionnels :

Test de la performance : Pour tester ce besoin nous regarderons l'utilisation du CPU en fonction des différents calculs de l'application.

Test de la compatibilité : Afin de tester la compatibilité l'application sera testée sur plusieurs téléphone différents dont notamment un Iphone 12 Pro, un Xiaomi 9T Pro, un Redmi Note 8T et un Sony Xperia XZ1.

Tests des autres besoins non-fonctionnels : Les autres besoins fonctionnels seront testés à l'aide d'une enquête faite auprès d'utilisateurs de l'application.

5 Choix Techniques

Ce projet fut développé avec le moteur de rendu **Unity** ainsi qu'à l'aide de scripts écrits en **C#** et du framework **ARFoundation**.

Ce choix de technologies fut imposé par le client au début du projet.

Présentation de Unity : Ce moteur de jeu lancé en 2005 permet de concevoir des applications fonctionnant entre autres sur ordinateur (Windows et MacOS) et smartphone (Android et IOS).

Il a l'avantage d'être utilisable sur Windows, Linux et Mac ainsi que d'être gratuit pour les étudiants. De plus il permet de facilement mettre en place des shaders et des simulations physiques. De plus, sa grande communauté et sa grande librairie d'assets et shaders furent d'une grande aide pour le développement du projet.

Présentation du langage C# : Ce langage orienté objet, commercialisé par Microsoft depuis 2002, est un des principaux langages utilisés dans les projets Unity pour concevoir des scripts.

Présentation d'ARFoundation : Ce framework conçu pour le développement en Réalité Augmentée reprend les principales fonctionnalités⁴ d'ARKit et ARCore. Et permet de développer des applications fonctionnant sur n'importe quelle plateforme ainsi que de les déployer sur les stores constructeurs.

4. <https://unity.com/fr/unity/features/arfoundation>

6 Architecture

Nos diagrammes de classe et de séquence sont inspirés du langage UML.

6.1 Diagramme de classe

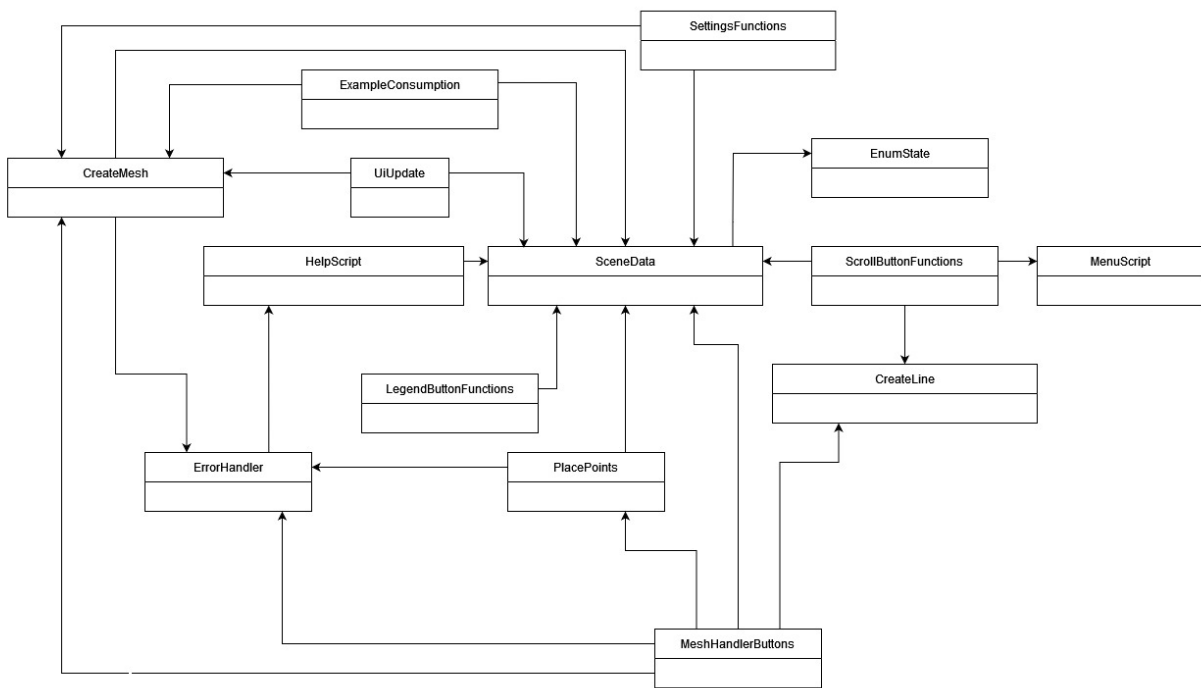


FIGURE 11 – Diagramme de classe.

Notre code tourne autour du script `SceneData`, reprenant toutes les données importantes au bon fonctionnement de l'application. Ainsi, c'est dans ce code que vont se trouver les valeurs correspondant aux différents types de consommation (douche, bain, etc), les couleurs associées, les valeurs de départ de l'application ou encore les booléens afin de savoir ce qui est créé ou pas (par exemple pour savoir si un maillage existe, si les lignes de consommations sont affichées, etc...). Grâce à ce code, tous les autres scripts peuvent avoir accès aux informations de bases de l'application au moyen de getters et setters.

`SceneData` est le seul à avoir accès à `EnumState` qui correspond à l'état dans lequel se trouve l'application (vue de base, placer les points, tutoriel, etc...). Cela est utile afin de gérer les interactions de l'utilisateur sur l'écran (principalement pour `PlacePoint` afin de ne pas placer des points à n'importe quel moment).

`UiUpdate` est aussi à part car il gère la mise à jour continue des panneaux de l'interface utilisateur ainsi que des boutons responsifs (quand ils changent de couleur à leur application). Ce script est alors composé seulement d'une fonction `Update()` qui se met à jour continuellement en fond.

Les autres scripts vont effectuer des actions basiques, souvent explicites grâce à leur nommage (CreateMesh va gérer la création d'un maillage, ErrorHandler va gérer l'affichage des erreurs, etc...).

6.2 Diagramme de séquence

Voici deux diagrammes de séquence de notre projet des fonctionnalités principales :

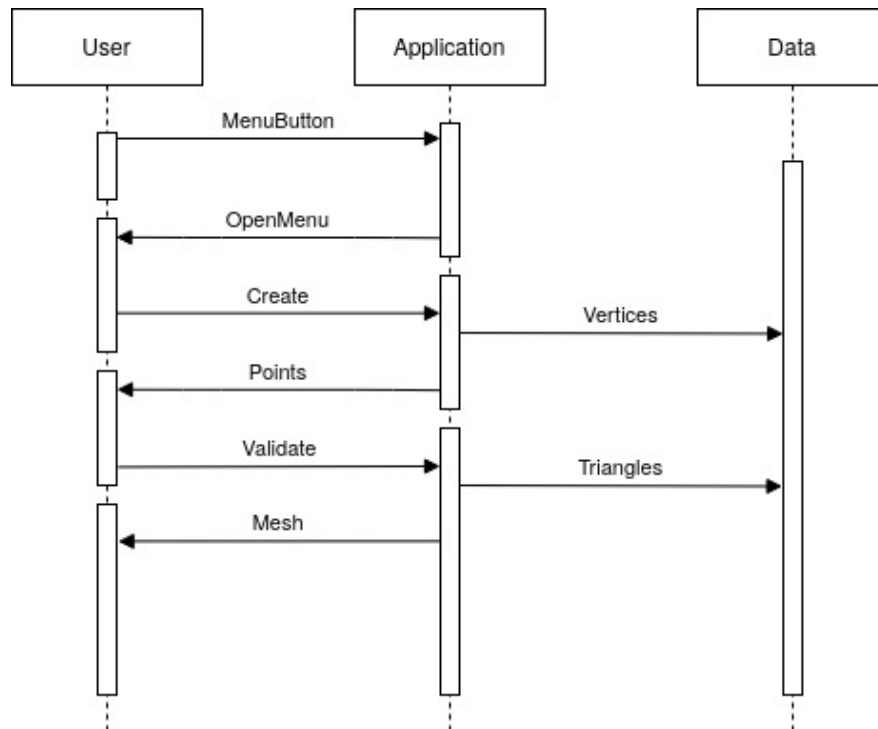


FIGURE 12 – Diagramme de séquence pour la création d'un maillage.

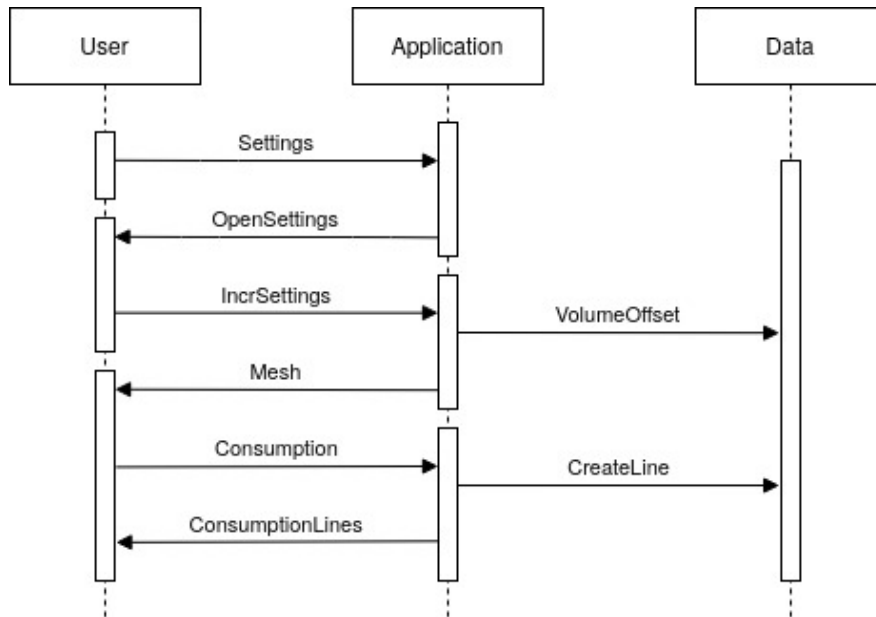


FIGURE 13 – Diagramme de séquence pour l’affichage de la consommation de l’utilisateur.

6.3 Descriptions de la structure du projet Unity

Icônes

Toutes les icônes utilisées lors du projet se trouvent dans le dossier « Icons ». Pour l’utilisation des icônes dans du texte, nous avons dû créer un sprite les regroupant toutes afin de les insérer dans les *TextMeshPro* qui sont des zones de textes pour la partie UI. Pour tout ce qui est chargé dans le code, cela est mis dans le dossier « Ressources », ce qui permet de changer les icônes de boutons en temps réel afin de permettre un retour à l’utilisateur quand il clique dessus.

Les icônes ont été trouvés sur le site [icones8⁵](https://icones8.fr) puis modifiés afin d’obtenir une charte graphique cohérente.

Prefabs

Les prefabs sont des *GameObject* complets avec tous ses composants, ses dépendances et ses propriétés, permettant de le réutiliser comme Asset. Ainsi *selectpoint* est le prefab des points utilisé lors de la création du mesh par l’utilisateur.

Matériaux

Nous avons créé plusieurs matériaux :

- **WaterURP** : matériau d’eau utilisé dans notre application.

5. <https://icones8.fr>

- **ar_plane** : matériau des plans générés en Réalité Augmentée.
- **Consumption Lines** : matériau utilisé pour la décomposition de la consommation d'eau.
- **Point** : matériau utilisé pour les points lors de la création du maillage.
- **Line** : matériau utilisé pour les lignes entre les points lors de la création du maillage.

Les matériaux utilisés dans notre projet sont aussi rangés dans le dossier « Ressources ».

Textures

Le dossier « Textures » inclut toutes les textures utilisées pour le matériau d'eau.

Scripts

Unity vous permet de créer vos propres composants à l'aide de scripts. Dans notre projet, nous avons utilisé des scripts écrits en C#. Ils permettent d'animer notre shader d'eau, gérer le placement de notre cube d'eau dans l'espace ou encore les interactions avec l'interface utilisateur.

Le dossier « Scripts » inclut tous les scripts utilisés pour la paramétrisation du cube et son placement dans l'espace, ainsi que pour le fonctionnement de l'UI.

Shaders

Le dossier « Shaders » contient le shader pour notre matériau *WaterURP*.

7 Réalisation

7.1 S.U.1 : L'utilisateur visualise sa consommation d'eau (sur une durée prédéfinie par l'utilisateur) grâce à un volume dans l'espace en réalité augmentée spatiale.

7.1.1 Dessiner un maillage en réalité augmentée

Afin d'obtenir de dessiner notre maillage, nous procédons en plusieurs étapes :

Tout d'abord nous *détections automatiquement les surfaces d'une pièce à partir des données récupérées avec les capteurs du téléphone* grâce au framework ARFoundation qui a déjà implémenté cette fonctionnalité.

Ensuite nous récupérons *les coordonnées des points placés sur une surface du monde réel* grâce au script qui sauvegarde le binôme de point à chaque appuie sur l'écran du téléphone quand le mode création du maillage (défini ci-dessous) est sélectionné.

Tous les sommets obtenus, par le placement des points, sont doublés (la copie représentant la hauteur du volume). Le binôme de chacun nous permettra d'extruder la surface au sol afin de faire apparaître le volume.

Dans un troisième temps, *nous traçons des segments à partir des coordonnées des points placés à l'aide de la fonction AddLine du script CreateLine* puis nous traçons ensuite des triangles à partir des segments. Nous rechargeons ensuite *l'affichage en temps réel des segments du maillage pendant sa création*. Il a aussi fallu faire attention à l'ordre des indices de sommets fournis afin d'avoir un volume correctement délimité et sans trous. L'algorithme sélectionnant les bons indices est fait en deux étapes distinctes : tout d'abord le calcul des indices des triangles pour les surfaces horizontales puis celui pour surfaces verticales. Nous étions contraints de trouver une automatisation algorithmique pour permettre à l'utilisateur de placer un nombre variable de points.

Menu de création, validation et suppression du maillage :

Nous avons fait le choix de rajouter un bouton de suppression du maillage au menu originellement imaginé.

Lors de la création du menu, nous l'avions tout d'abord intégré dans un slider gauche. Mais nous avons abandonné cette interface puisqu'elle prenait beaucoup de place et que cela ne nous semblait pas être la méthode la plus claire.

La solution que nous avons choisi est d'afficher le menu sous forme de boutons (Fig. 14). Nous pouvons cliquer sur le bouton menu pour afficher les boutons pour placer les points, les valider ou les supprimer. Un nouveau clic permet de fermer ce menu. Cette méthode nous semble plus intuitive mais nous permet également de donner à l'utilisateur plus d'espace sur l'écran pour placer les points.

Nous devons bouger le smartphone dans la pièce pour faire apparaître des plans. Ce sont sur ces plans que nous pouvons tracer la base de notre volume avec un maximum de 10 points qui, une fois le bouton de validation sélectionné, vont servir de base pour notre maillage (Fig. 15).

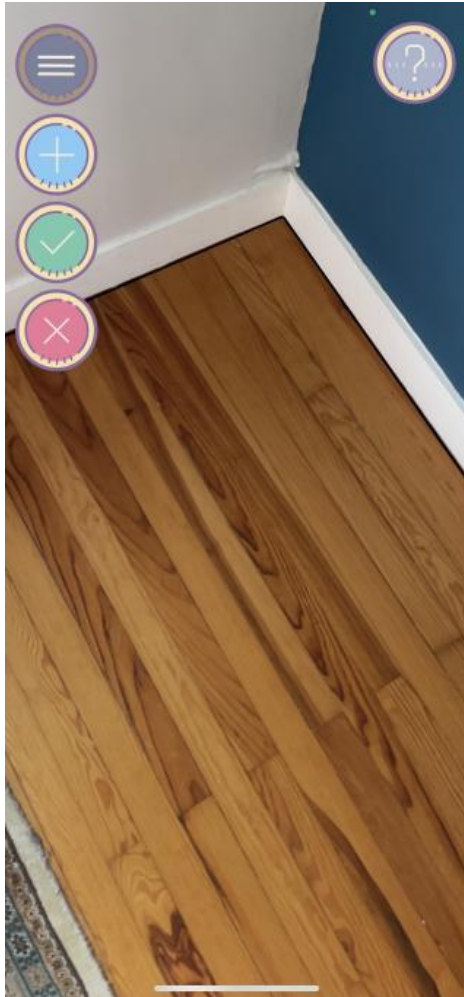


FIGURE 14 – Ouverture du menu de création de maillage.



FIGURE 15 – Validation d'un maillage.

7.1.2 Récupérer les paramètres donnés par l'utilisateur

Afin de récupérer les différents paramètres saisi par l'utilisateur nous avons mis en place un slider horizontal en bas de l'écran qui n'apparaît que lorsqu'un maillage est créé et permet de gérer le volume généré.

Nous pouvons modifier les diverses consommations d'eau, ce qui aura des conséquences sur le volume d'eau présent en Réalité Augmentée. Nous pouvons ajouter des douches, des bains, des vaisselles à la main, des lave-vaisselles, des machines à laver et des chasses d'eau (cela sur une consommation d'une semaine). Nous pouvons également modifier l'échelle du volume pour réduire sa taille s'il est trop grand. Le réglage de l'échelle temporelle permet de visualiser sa consommation par mois ou par an, en fonction de notre semaine type. Enfin, nous pouvons rentrer un volume arbitraire pour le visualiser en Réalité Augmentée. (Fig. 16)

Nous pouvons aussi également voir la composition de l'eau en cliquant sur la deuxième icône du menu du bas. Le code couleur correspond à celui des paramètres.

Le volume peut aussi être réinitialisé en cliquant sur la troisième icône du menu du bas.



FIGURE 16 – Paramétrage de l'application.

7.1.3 Afficher un volume d'eau animé et texturé

Positionner un volume sur un maillage définie en Réalité Augmentée spatiale.

Appliquer un shader d'eau au volume

Pour la réalisation du shader d'eau, nous avons pensé à plusieurs solutions :

- Un matériau 2D à appliquer sur chaque face du volume.
- Un shader 3D à appliquer sur chaque face du volume.
- Un shader 3D à appliquer sur les faces du dessus et du dessous, en différenciant les côtés.

Nous avons choisi la troisième hypothèse après les avoir toutes essayées car il s'agissait de la méthode qui semblait la plus réaliste et la plus adaptée au projet. Le choix du matériau du volume d'eau est une question qui nous a demandé beaucoup de temps et d'attention. Nous avons longuement discuté avec les clients pour savoir qu'elle était la solution qu'ils préféraient.

Le matériau du volume d'eau utilise donc le pipeline graphique URP, pour sa simplicité d'utilisation et de documentation. Nous avons donc suivi un tutoriel⁶ et à l'issue de ce dernier, nous avons obtenu un script paramétrable. Grâce à cela, nous avons pu modifier certains paramètres tels que la transparence, la force de distorsion des vagues ou encore la puissance des normales.

7.1.4 Faire varier la hauteur du volume d'eau en fonction des paramètres donnés

Finalement, lors du changement de paramètres par l'utilisateur, le maillage est recalculé avec une hauteur modifiée pour les points dupliqués, le volume apparaît (Fig. 19). Les Fig. 21 et Fig. 20 illustre le rendu obtenu après avoir rempli une consommation de 3000L.

7.2 S.U.2 : L'utilisateur visualise la composition de sa consommation d'eau (douche, bain, vaisselle, lave-vaisselle, lave-linge, chasse d'eau).

7.2.1 Décomposer le volume d'eau en fonction des paramètres donnés

Représenter chaque paramètre de consommation d'eau par un maillage avec une couleur distincte.

Une fois le volume créé, nous pouvons afficher la composition de l'eau à partir des paramètres rentrés par l'utilisateur dans l'application. Chaque paramètre est représenté par un maillage (fonctionnant sur le même principe que pour le maillage principal d'eau) avec une couleur associé. Le

6. [Unity: Water Shader with Amplify \[URP\]](#)

maillage créé va être soit placé au bas du volume d'eau si c'est le premier, soit au dessus des autres créées.

La hauteur de ce nouveau maillage est calculée automatiquement pour représenter le volume d'eau associé. Les points sont calculés pour être éloignés du volume d'eau principal en calculant un vecteur allant du centre du volume au point afin de l'éloigner dans cette direction. Cela permet à la composition de l'eau de s'adapter à n'importe quelle forme de maillage créé.

Dans un premier temps, nous avons baissé le canal alpha du matériau afin de le rendre plus transparent. Le résultat n'était pas satisfaisant car certaines couleurs paraissaient trop similaires, nous l'avons donc rendu opaque et enlevé les reflets (Fig. 17).

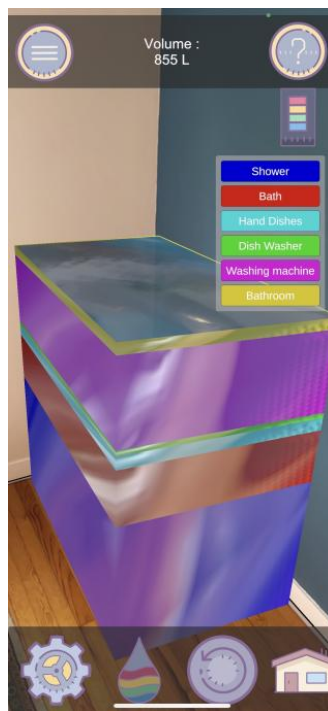


FIGURE 17 – Affichage de la composition de l'eau par rapport aux paramètres rentrés.

Afficher sur l'écran du téléphone une légende de la signification des couleurs.

Une fois le volume d'eau décomposé en fonction des paramètres donnés, le script Legend-Buttonfunction affiche en haut à droite de l'écran un code couleur précisant pour chaque type de consommation d'eau la couleur qui lui correspond (Fig. 17).

7.3 S.U.3 : L'utilisateur visualise les valeurs par défaut de consommation d'eau dans un foyer.

7.3.1 Afficher un volume d'eau animé et texturé en fonction de valeurs de références

Afficher les volumes d'eau en litre pour l'utilisateur.

Un panel en haut de l'écran apparaît lorsqu'un maillage est créé. Il permet d'afficher le volume, en litre, du volume d'eau en Réalité Augmentée. Il est mis à jour automatiquement en tâche de fond.

Créer une fenêtre pour que l'utilisateur sélectionne une valeur de référence parmi une liste.

Dans le slider horizontal réalisé précédemment nous avons rajouté une quatrième icône qui permet à l'utilisateur d'afficher des valeurs préremplies de consommation d'un foyer (consommation moyenne d'une personne sur une semaine, lave-auto, chasse d'eau qui fuit pendant une semaine, robinet qui goutte pendant une semaine, arrosage d'un jardin pendant une semaine). (Fig. 18)

Récupérer les informations pour la valeur sélectionnée et affichage du volume de hauteur égale aux paramètres saisis dans l'application.

Pour ce dernier sous besoin nous avons réutilisé les mêmes scripts que ceux que nous avons implémentés pour récupérer les paramètres saisis par les utilisateurs ainsi que pour l'affichage d'un volume de hauteur correspondant aux paramètres saisis.



FIGURE 18 – Affichage de valeurs prédéfinies.



FIGURE 19 – Volume d'eau affiché dans l'application (ici 855 L).



FIGURE 20 – Mise du volume dans le coin d'une pièce.

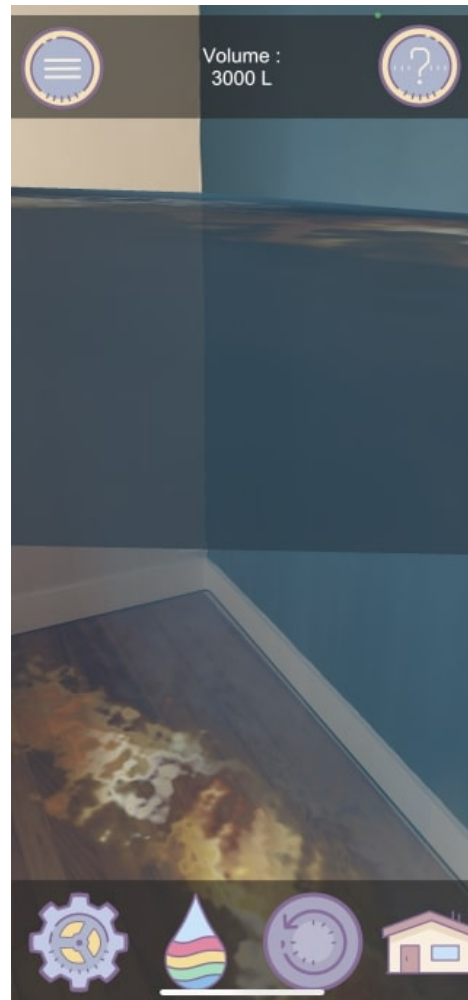


FIGURE 21 – Immersion dans le volume d'eau.

7.4 Tutoriel et message d'erreur

Bien que non prévu initialement nous avons fait le choix de rajouter un tutoriel (Fig. 22) et des messages d'erreur afin de simplifier la prise en main et l'application ainsi que des retours visuels à l'utilisateur en cas de mauvaise utilisation de l'application.

7.4.1 Tutoriel

Nous avons également ajouté un tutoriel à l'application afin de faciliter son utilisation. Nous avons choisi de le faire sous forme de panel. L'utilisateur peut changer de panel grâce à des boutons gauche et droite et peut quitter à tout moment ce tutoriel (et y retourner aussi à tout moment grâce à un bouton sur l'ui).

Pour la réouverture du tutoriel, nous avons deux options :

- ouvrir la première page à chaque fois.
- ouvrir la dernière page active lorsque l'utilisateur a quitté le tutoriel.

Nous avons choisi la deuxième option car nous avons estimé que c'était plus pertinent du fait que l'utilisateur peut quitter le tutoriel à tout moment pour suivre les consignes et revenir dessus après.

Nous pouvons fermer et rouvrir le tutoriel à tout moment et il se rouvre sur la dernière page ouverte. Le tutoriel se termine sur les crédits de l'application (Fig. 23).

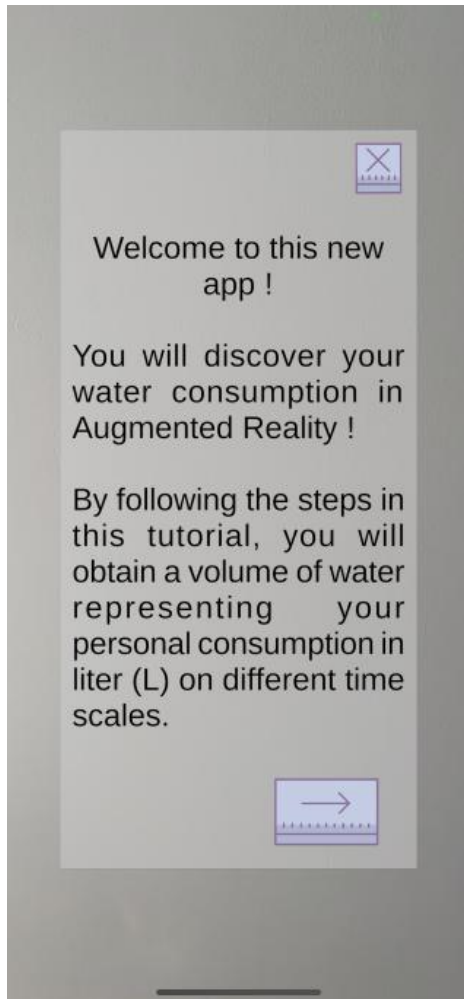


FIGURE 22 – Première page du tutoriel qui se lance au démarrage de l'application.



FIGURE 23 – Crédit de l'application.

7.4.2 Messages d'erreur

Pour donner un retour à l'utilisateur sur des mauvaises utilisations de l'application, nous avons mis en place des messages d'erreur dans l'interface utilisateur. Ainsi, tout mauvais comportement est annoncé à l'utilisateur sous forme d'une petite phrase. Par exemple, si l'utilisateur place plus

de 10 points sur un plan, il en est averti.

8 Résultats des tests

8.1 Tests des besoins fonctionnels

Unity possède son framework de test appelé **Unity Test Framework**. Il permet de faire des tests unitaires automatisés pour assurer le bon fonctionnement du code. Nous avons effectué nos tests en "Edit Mode", ce mode nous permet d'exécuter une série de test sans avoir à démarrer l'application sur un téléphone. Lorsque nous lançons les tests, nous arrivons à 100% de réussite (voir figure 24).

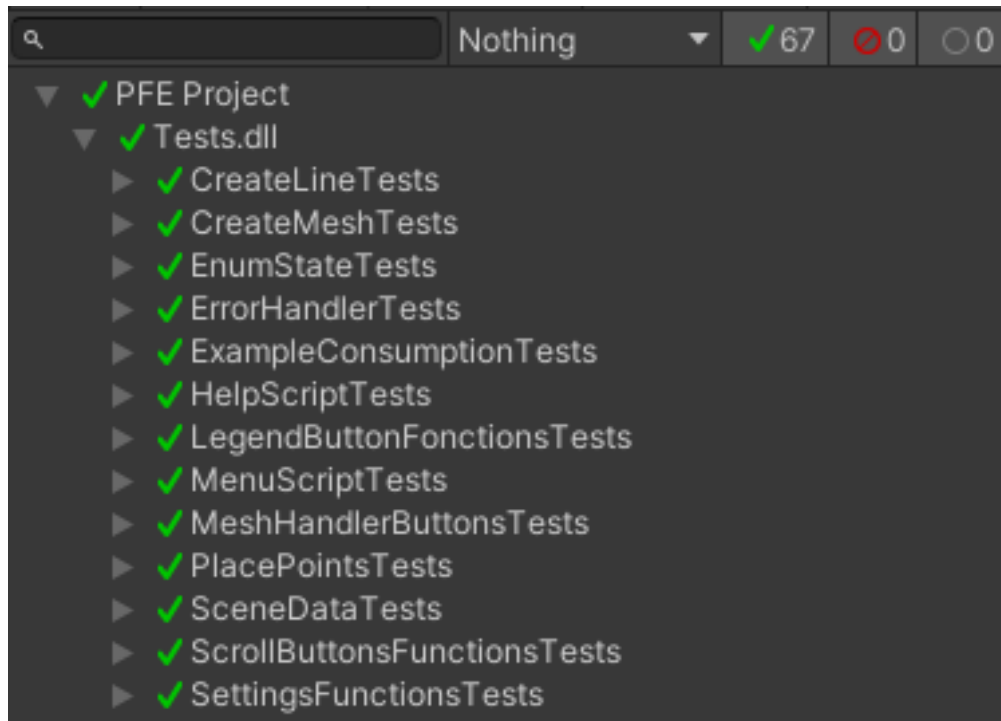


FIGURE 24 – Résultats des tests unitaires.

Nous avons utilisé un package d'Unity nous permettant de calculer le pourcentage de nos lignes de code couvertes par nos tests unitaires. À la fin des tests, nous avons atteint de 78.7% de la couverture de code (Fig. 25).

| Name | Covered | Uncovered | Coverable | Total | Line coverage |
|-----------------------|---------|-----------|-----------|-------|---------------|
| Scripts | 830 | 224 | 1054 | 2157 | 78.7% |
| CreateLine | 78 | 8 | 86 | 182 | 90.6% |
| CreateMesh | 164 | 19 | 183 | 362 | 89.6% |
| EnumState | 24 | 3 | 27 | 64 | 88.8% |
| ErrorHandler | 24 | 7 | 31 | 71 | 77.4% |
| ExampleConsumption | 23 | 0 | 23 | 50 | 100% |
| HelpScript | 105 | 0 | 105 | 210 | 100% |
| LegendButtonFunctions | 29 | 0 | 29 | 64 | 100% |
| MenuScript | 17 | 2 | 19 | 49 | 89.4% |
| MeshHandlerButtons | 50 | 24 | 74 | 147 | 67.5% |
| PlacePoints | 36 | 48 | 84 | 169 | 42.8% |
| SceneData | 125 | 2 | 127 | 291 | 98.4% |
| ScrollButtonFunctions | 46 | 24 | 70 | 137 | 65.7% |
| SettingsFunctions | 109 | 6 | 115 | 217 | 94.7% |
| UiUpdate | 0 | 81 | 81 | 144 | 0% |

FIGURE 25 – Décomposition de la couverture de code.

Tests non effectués : Différents tests non pas pu être mis en place pour cause de non compréhension de leur fonctionnement ou juste de manque de temps :

- **UiUpdate** vérifie en temps réel (avec une fonction Update()) l’affichage de panneaux dans l’application ainsi que des changements de sprites pour les boutons. Afin de tester ce code nous aurions dû créer une section de test à faire en "Play Mode" (afin d’appeler les fonctions Update() et de simuler des actions de l’utilisateur sur l’application), nous n’avons pas pu le faire par manque de temps.
- **PlacePoints** fonctionne principalement avec une fonction Update() dans laquelle on entre en changeant un état de la scène suite à une interaction avec un bouton. Comme pour **UiUpdate**, cela aura nécessité un passage en "Play Mode" et n’a pas été fait par manque de temps.
Une autre particularité de PlacePoints est qu’il vérifie au moment de l’Update() si l’interaction de l’utilisateur s’est faite ou non sur un élément de l’interface utilisateur (afin de ne pas placer de points derrière un bouton). Cela se vérifie avec du raycasting, chose que nous ne savons pas tester sous Unity.
- Les appels aux fonctions d’autres scripts ont été testés en tests fonctionnels uniquement.

Résultats du test : Les tests sont donc validés sauf sur les fonctions non testées. Pour vérifier la bonne implémentation de tout le code il faudrait couvrir le code de test unitaire supplémentaire.

8.2 Tests des besoins non-fonctionnels

8.2.1 Test de la performance et de la compatibilité :

Test de performance :

L'application ne fonctionne pas toujours à 30 image par secondes. Certains pics réguliers sont au-dessous des 30 images par seconde (voir Fig. 26).

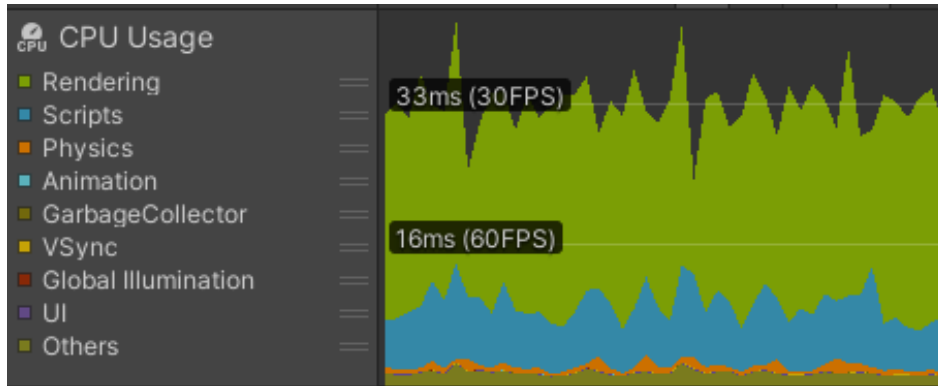


FIGURE 26 – Performance de l'application.

Résultats du test : Ce test n'est pas validé.

Test de compatibilité : L'application est disponible pour iOS et Android. Nous avons pu la tester plus en profondeur sur nos quatre téléphones (Iphone 12 Pro, Xiaomi 9T Pro, Redmi Note 8T, Sony Xperia XZ1). L'application fonctionne aussi bien sur Android que sur iOS mais la présence d'un capteur LiDAR pour les smartphones iOS permet une meilleure détection de plans. Pour l'Iphone 12 Pro, la réflexion à la surface de l'eau est aussi plus réaliste que sur les autres téléphones.

Nous avons testé l'application avec le plus de résolutions de smartphones possibles afin de tester si l'UI reste claire et lisible dans la majorité des cas. Sur tous les téléphones testés, l'UI reste claire, lisible et utilisable.

Résultats du test : Ce test est validé.

8.2.2 Test des autres besoins non-fonctionnels :

Méthologie de test : Comme imaginé au début du projet nous avons fait tester l'application à des personnes principalement issues de notre entourage et nous leurs avons demandé de remplir un formulaire leur demandant d'évaluer leur expérience avec l'application, ainsi que de juger le réalisme de l'eau, l'ergonomie, la facilité d'utilisation. On leur a aussi posé des questions ouvertes sur la sensibilisation et l'impact de ce test sur leur consommation d'eau.

Les participants de l'expériences ont dû suivre le tutoriel lancé au début de l'application et ensuite réaliser les différentes tâches décrites sur le tutoriel. Une fois cela fait nous les invitons à remplir le formulaire disponible en annexe 2.

Nous avons obtenus 9 réponses des personnes qui avaient testés l'application sur Android. 8

personnes ayant testés l'application se déclarent à l'aise ou très à l'aise avec l'utilisation d'application mobile. Sur les participants seulement 6 d'entre eux ont déjà testé de la réalité augmentée et 4 avaient déjà testé une application de RA sur téléphone. La synthèse des réponses obtenus et disponibles en annexe.

Facilité d'utilisation : La plus grande partie des testeurs trouvent que l'application est assez intuitive. Plus de 65% des personnes se sentent prêtes à pouvoir refaire toutes les actions possibles de l'application sans tutoriel, ce qui montre que notre application est assez facile à utiliser. Cependant, deux actions pourraient être plus intuitives (tracer la surface au sol et réinitialiser le volume d'eau).

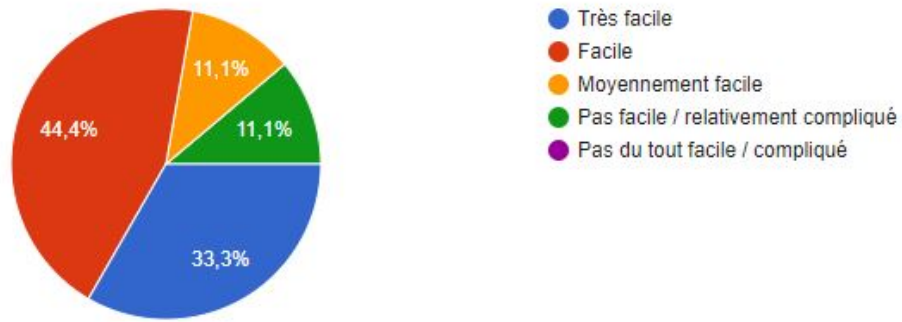


FIGURE 27 – Évaluation de l'action «Tracer la surface au sol».

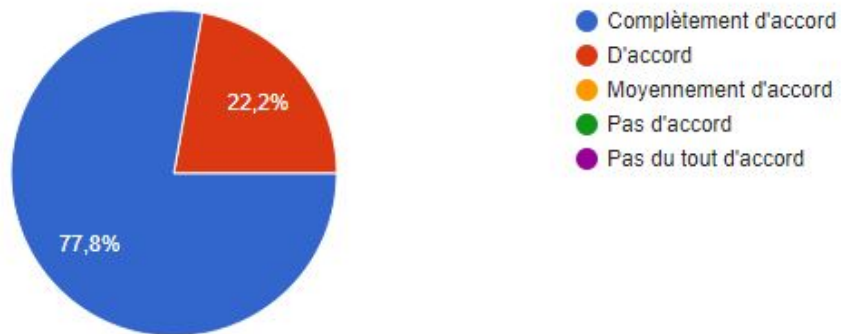


FIGURE 28 – Évaluation de l'action «Afficher la composition de l'eau».

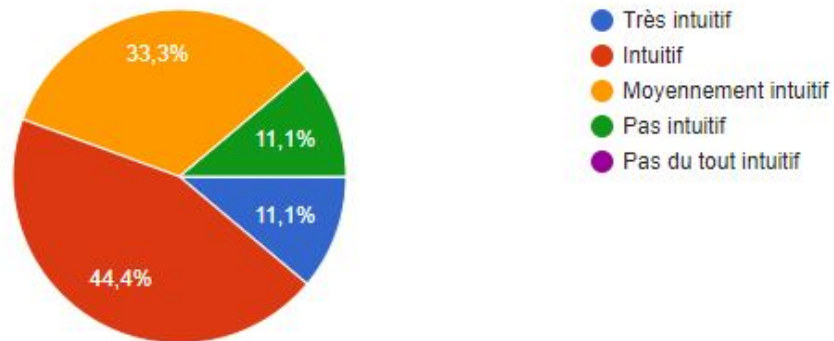


FIGURE 29 – Évaluation de l'action «Réinitialiser le volume d'eau».

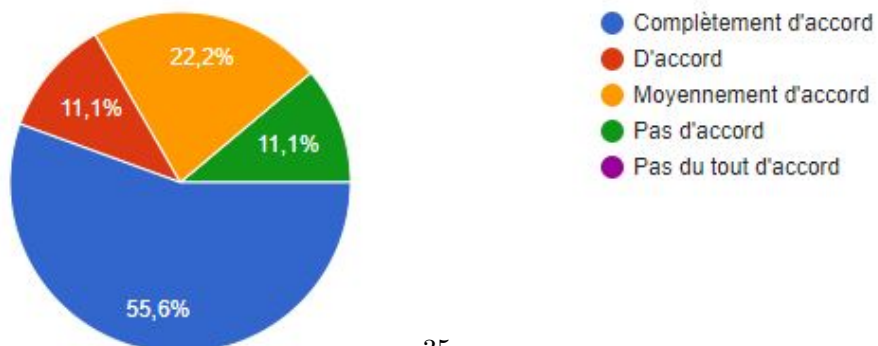


FIGURE 30 – Évaluation de l'action «Utiliser l'application sans tutoriel».

Résultats du test : Ce test est validé.

Réalisme : Pour la grande majorité, le shader d'eau est réaliste. Cependant, après l'ajout de la consommation par l'utilisateur, le volume d'eau est considéré comme un peu plus réaliste.

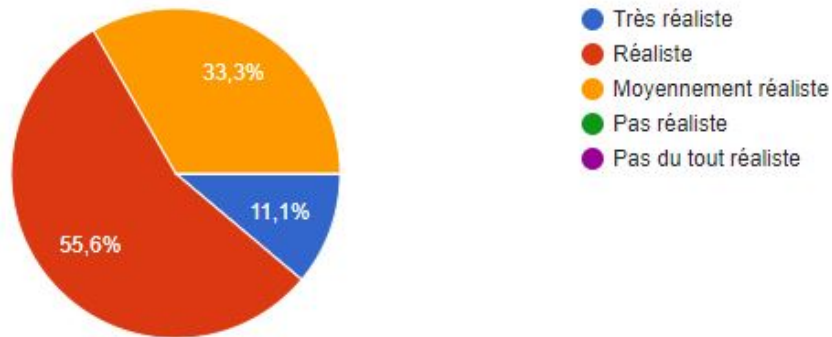


FIGURE 31 – Évaluation du réalisme de l'eau avant l'ajout de la consommation d'eau.

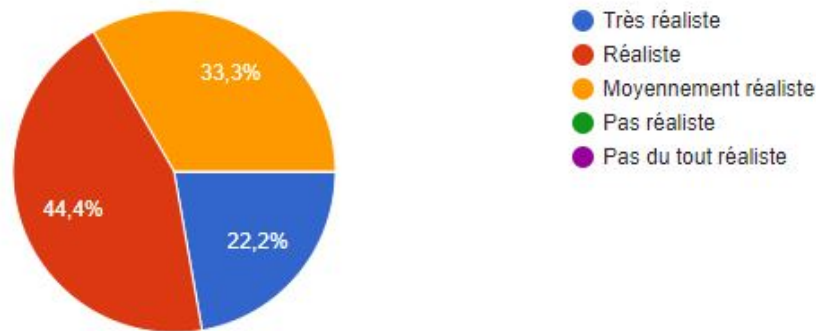


FIGURE 32 – Évaluation du réalisme de l'eau après l'ajout de la consommation d'eau.

Résultats du test : Ce test est validé.

Sensibilisation : Un terme qui est souvent revenu, c'est que les personnes étaient «impressionnées» à la vue de leur consommation. Cependant, seulement deux personnes estiment que l'application va impacter leurs prochaines consommations d'eau. Néanmoins, une majorité aimerait pouvoir réduire leur consommation sans être prête à le faire aujourd'hui.

Résultats du test : Ce test est partiellement validé.

9 Organisation du projet

Il est à noter qu'hormis les différents rendez-vous avec les clients ou le chargé de TD et à l'exception de quelques réunions au début du projet pour concevoir l'application tout le projet fut réalisé à distance par manque de moyens logiciels au CREMI pour développer ce projet sur Android et IOS.

9.1 Organisation interne

Notre groupe de projet se réunissait de manière quotidienne afin de faire le bilan du travail effectué la veille et se répartir les futures tâches. Ces réunions étaient faites en vocal ou à minima par écrit sur la plateforme Discord. Pour palier au travail en distanciel, nous étions le plus régulièrement possible en vocal lors de nos journées de travail.

Nous avons également tenu avec rigueur un Kanban avec l'outil en ligne Trello pour avoir une idée des tâches hebdomadaires. Les tâches de chaque semaine sont choisies entre nous mais aussi en accord avec les missions prioritaires définies avec les clients.

Comme Unity était une technologie très peu familière, nous avons, dans un premier temps, consacré nos efforts à regarder des tutoriels pour mieux comprendre Unity. Chaque membre du groupe a, par la suite, naturellement choisi des tâches qui lui convenaient au mieux en fonction de ses affinités.

9.2 Organisation avec les clients

Chaque semaine, notre groupe de projet se réunissait avec les clients (Martin Hachet et Ambre Assor). Durant ces rendez-vous, nous montrions l'état d'avancement du projet avec une démonstration technique. Nous discutons avec les clients des prochaines étapes ou améliorations du projet. Durant quelques rendez-vous, Arnaud Prouzeau était présent pour nous faire parvenir son point de vue et des conseils.

Nous gardions aussi un contact en dehors de ces réunions grâce à la mise en place d'un serveur Discord dédié.

9.3 Organisation avec le chargé de TD

Chaque semaine, nous avons une réunion où nous discutons du projet en cours et nous fixons un objectif de travail pour la semaine d'après.

Lors de chaque réunion, nous présentions une démonstration technique pour montrer les avancées du projet et discuter des éventuels changements ou améliorations.

9.4 Diagramme de Gantt

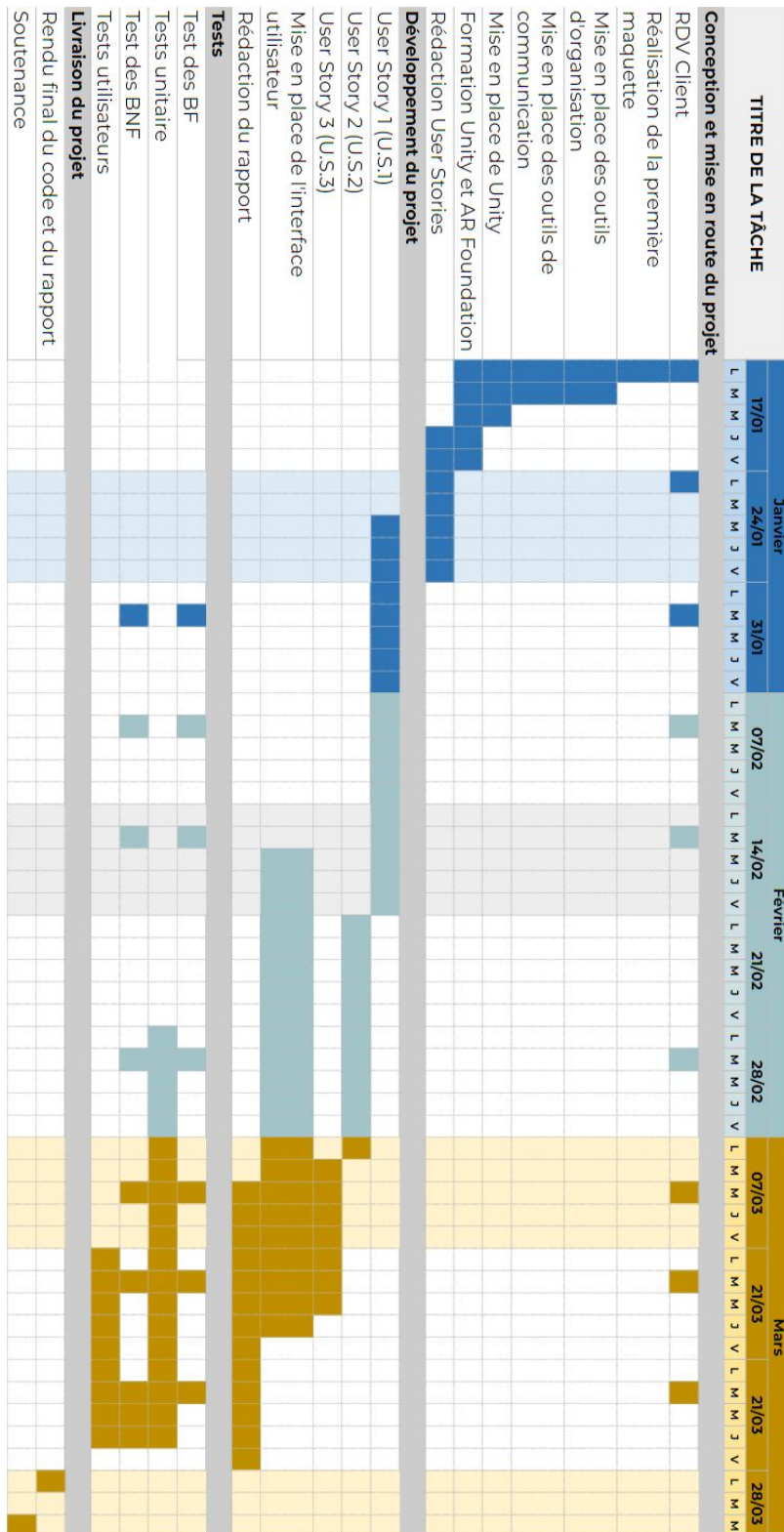


FIGURE 33 – Diagramme de Gantt prévisionnel de notre projet.

Dans l'ensemble le diagramme de Gantt prévisionnel (Fig. 33) et l'effectif (Fig. 34) sont quasiment identiques. Les principales différences notables sont le fait que nous avons passés moins de temps à rédiger les scénarios d'utilisations (user story dans le diagramme) que prévu, nous avons passés plus de temps qu'imaginé sur le développement des cas d'usages 1 et 2 (en effet ceux-ci ont évolué en fonction des nouvelles fonctionnalités rajoutées et imaginées par les clients). De plus, les tests utilisateurs qui ont commencé et fini plus tard que prévu ont décalés les prévisions.

10 Conclusion

10.1 Limitations

Pour les utilisateurs Android, la détection de plan n'est pas parfaite comparée aux utilisateurs d'iPhone qui possèdent un capteur LiDAR. C'est une limitation matérielle qui n'est pas due à une notre code. Dans les grands espaces, nos smartphones Android produisaient un résultat très proche des smartphones iOS. Dans des endroits plus clos, les plans sont moins précis et plus difficiles à détecter.

Pour les utilisateurs Android, la réflexion au dessus du volume d'eau est moins réaliste que celle pour les utilisateurs iOS.

Le rendu n'est pas le même si le maillage est dessiné dans le sens horaire ou anti-horaire.



FIGURE 35 – Plans détectés sous Android.



FIGURE 36 – Plans détectés sous Ios.

10.2 Discussion

Nous avons tous choisi ce projet en partie pour augmenter nos compétences dans un domaine que nous ne connaissions que très peu. Nous avons été curieux envers une nouvelle technologie en

Réalité Augmentée spatiale. Nous avons également découvert le fonctionnement de Unity et du langage C#. Unity était une technologie nouvelle pour tous les membres du groupe et cela a rajouté un défi supplémentaire.

La notion de prise de conscience sur la consommation d'eau nous a tout aussi intéressé. Le dérèglement climatiques est un sujet d'actualité et nous nous sommes sentis très investis dans le but de sensibiliser avec cette application.

10.3 Bilan et perspectives

Nous avons réussi à atteindre la grande majorité des objectifs que les clients nous ont fixés et sommes satisfait du résultat final. Nous avons dû travailler la majorité du temps en télétravail ce qui nous a rajouté une contrainte supplémentaire mais a en même temps développé nos capacités d'organisation et de gestion d'équipe.

Nous avons pensé à de potentielles améliorations du projet. En dialoguant avec les clients, nous avons remarqué que la possibilité de placer un deuxième volume d'eau dans la pièce pour ainsi pouvoir comparer deux volumes en même temps permettrait à l'utilisateur de se rendre compte plus facilement des quantités d'eau en jeu. Nous avons aussi pensé qu'il serait pertinent d'ajouter la possibilité de suivre ses consommations d'eau (rentrées dans l'application) sur des graphes et des données brutes au cours du temps (cela permettrait à l'utilisateur de comparer ses utilisations dans le temps et de voir son évolution). Il serait aussi intéressant de pouvoir lier l'application à son compteur d'eau pour voir sa consommation directement en Réalité Augmentée. Toujours dans l'amélioration de la précision de l'application, permettre à l'utilisateur de rentrer sa propre consommation (pendant les douches, bain, vaisselle, etc...) permettrait une meilleure personnalisation ainsi que des résultats plus pertinents.

La possibilité de créer des comptes sur l'application pourrait permettre, par exemple, aux membres d'une famille de chacun rentrer sa consommation d'eau personnelle et de pouvoir observer aussi la consommation globale du foyer sur la même application (ce qui nécessiterait une base de données partagée par foyer). La possibilité à différents foyers d'un même quartier de pouvoir se comparer et voir quelle personne améliore le plus la consommation d'eau pourrait être un élément supplémentaire qui permettrait de rajouter de la gamification à l'application.

La partie sensibilisation du public aux enjeux environnementaux peut aussi être améliorée. Par exemple, en ne se limitant pas seulement à une maison mais en montrant les quantités d'eau utilisées dans le monde (pour un jean, un steak haché, une feuille de papier, etc...). L'amélioration de la consommation d'eau de l'utilisateur peut aussi être travaillée. Donner des conseils pour consommer moins, expliquer pourquoi nous consommons autant et les facteurs qui entrent en jeu (l'âge, l'activité physique, etc...) ainsi que des informations plus détaillées sur les données rentrées par l'utilisateur permettrait une meilleure compréhension de ces informations.

Enfin, un portage sur Hololens ouvrirait de nouvelles perspectives de manipulation de l'application ainsi qu'un meilleur réalisme (pouvoir rentrer dans l'eau, la manipuler par exemple).

11 Bibliographie

Références

- [1] « AR App Reintroduces Native Ecology To Oklahoma », <https://www.kgou.org/science-technology-and-environment/2020-07-27/ar-app-reintroduces-native-ecology-to-oklahoma.pdf> (dernier accès 20/03/2022).
- [2] « Bienvenue, Dresseurs et Dresseuses! », <https://pokemongolive.com/fr/> (dernier accès 28/03/2022).
- [3] M. Cordeil, T. Dwyer, K. Klein, B. Laha, K. Marriott and B. H. Thomas, "Immersive Collaborative Analysis of Network Connectivity : CAVE-style or Head-Mounted Display?," in IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, vol. 23, no. 1, pp. 441-450, Jan. 2017, doi : 10.1109/TVCG.2016.2599107
- [4] Carolina Cruz-Neira, Daniel J. Sandin, Thomas A. DeFanti, Robert V. Kenyon, John C. Hart. The CAVE : audio visual experience automatic virtual environment. Communications of the ACM, Volume 35, Issue 6, June 1992, pp 64–72
- [5] Martin Hachet, Ambre Assor, Sujet de PFE : « Outil interactif de visualisation d'eau en réalité augmentée », https://masterinfo.emi.u-bordeaux.fr/wiki/lib/exe/fetch.php?media=wiki:iis:pfe2021_proposition_de_projet_-_potioc.pdf (dernier accès 28/03/2022).
- [6] « L'application IKEA Place est lancée sur les appareils Android compatibles AR-Core », <https://android24tech.com/lapplication-ikea-place-est-lancee-sur-les-appareils-android-compatibles-arcore/> (dernier accès 28/03/2022).
- [7] « La réalité augmentée pour aider à la pose de panneaux solaires », <https://www.futura-sciences.com/planete/actualites/environnement-realite-augmentee-aider-pose-panneaux-solaires-72806/> (dernier accès 28/03/2022).
- [8] « Pokémon GO : 100 millions de téléchargements et des restrictions pour les apps tierces », archive.wikiwix.com/cache/index2.php?url=http%3A%2F%2Fwww.igen.fr%2Fapp-store%2F2016%2F08%2Fpokemon-go-100-millions-de-telechargements-et-des-restrictions-pour-les-apps#federatation=archive.wikiwix.com (dernier accès 28/03/2022).
- [9] « Qu'est-ce que la réalité augmentée? », <https://www.artefacto-ar.com/realite-augmentee/> (dernier accès 28/03/2022).
- [10] « Quelle est la consommation d'eau par habitant en France? », <https://www.futura-sciences.com/planete/questions-reponses/eau-consommation-eau-habitant-france-908/> (dernier accès 28/03/2022).
- [11] « Se meubler intelligemment avec la réalité augmentée », <https://fr.media.ikea.ch/pressrelease/se-meubler-intelligemment-avec-la-realite-augmentee/2862/> (dernier accès 28/03/2022).
- [12] Anastassova Margarita Svétoslavova, et al. « L'ergonomie de la réalité augmentée pour l'apprentissage : une revue », Le travail humain, vol. 70, no. 2, 2007, pp. 97-125

A Annexe - Questions de l'enquête

À quel point êtes vous à l'aise avec l'utilisation d'application mobile? *Question à choix unique*

- Très à l'aise
- À l'aise
- Moyennement à l'aise
- Pas à l'aise
- Pas du tout à l'aise

Avez vous déjà tester des applications en RA? *Question à choix multiples*

- Non
- Oui sur mobile
- Oui sur Hololens
- Autre :

J'ai testé l'application sur : *Question à choix unique*

- Androïd
- IOS

Tracer la surface au sol fut : *Question à choix unique*

- Très facile
- Facile
- Moyennement facile
- Pas facile / relativement compliqué
- Pas du tout facile / compliqué

L'eau représenté dans la surface au sol est : *Question à choix unique*

- Très réaliste
- Réaliste
- Moyennement réaliste
- Pas réaliste
- Pas du tout réaliste

L'ajout de ma consommation d'eau hebdomadaire sur l'application fut *Question à choix unique*

- Très intuitif
- Intuitif
- Moyennement intuitif

- Pas intuitif
- Pas du tout intuitif

La conversion de ma consommation d'eau hebdomadaire en consommation mensuel sur l'application fut *Question à choix unique*

- Très intuitif
- Intuitif
- Moyennement intuitif
- Pas intuitif
- Pas du tout intuitif

L'eau représentée dans le volume une fois après l'ajout de ma consommation fut : *Question à choix unique*

- Très réaliste
- Réaliste
- Moyennement réaliste
- Pas réaliste
- Pas du tout réaliste

Décomposer ma consommation d'eau fut *Question à choix unique*

- Très intuitif
- Intuitif
- Moyennement intuitif
- Pas intuitif
- Pas du tout intuitif

La décomposition de l'eau en fonction de ma consommation fut facile à comprendre : *Question à choix unique*

- Complètement d'accord
- D'accord
- Moyennement d'accord
- Pas d'accord
- Pas du tout d'accord

Réinitialiser la hauteur de la surface fut : *Question à choix unique*

- Très intuitif
- Intuitif
- Moyennement intuitif
- Pas intuitif
- Pas du tout intuitif

Supprimer la surface au sol fut : *Question à choix unique*

- Très intuitif
- Intuitif
- Moyennement intuitif
- Pas intuitif
- Pas du tout intuitif

Je me sens capable de refaire un test complet de l'application sans tutoriel *Question à choix unique*

- Complètement d'accord
- D'accord
- Moyennement d'accord
- Pas d'accord
- Pas du tout d'accord

Qu'avez-vous ressenti en voyant ce que représentait votre consommation hebdomadaire ? *Question ouverte*

Qu'avez vous pensé du fait de voir votre consommation d'eau ? Vous attendiez-vous voir cette taille de bloc d'eau en Réalité Augmenté ? *Question ouverte*

Comment vous a paru être votre consommation mensuelle / annuelle ? *Question ouverte*

Qu'avez-vous pensé de votre décomposition d'eau ? Pensiez-vous que votre consommation était décomposé comme cela ? *Question ouverte*

Lorsque vous avez vu la consommation d'eau hebdomadaire moyenne d'un individu, qu'avez vu ressenti ? *Question ouverte*

L'application va-t-elle avoir un impact sur vos prochaines consommations d'eau ? *Question ouverte*

Une suggestion d'amélioration pour cette application ? *Question ouverte*

B Annexe - Réponses de l'enquête

Réponse 1

À quel point êtes vous à l'aise avec l'utilisation d'application mobile ?

- Très à l'aise

Avez vous déjà tester des applications en RA ?

- Non

J'ai testé l'application sur :

- Android

Tracer la surface au sol fut :

- Très facile

L'eau représenté dans la surface au sol est :

- Réaliste

L'ajout de ma consommation d'eau hebdomadaire sur l'application fut

- Très intuitif

La conversion de ma consommation d'eau hebdomadaire en consommation mensuel sur l'application fut

- Très intuitif

L'eau représentée dans le volume une fois après l'ajout de ma consommation fut :

- Moyennement intuitif

Décomposer ma consommation d'eau fut

- Très intuitif

La décomposition de l'eau en fonction de ma consommation fut facile à comprendre :

- Complètement d'accord

Réinitialiser la hauteur de la surface fut :

- Intuitif

Supprimer la surface au sol fut :

- Très intuitif

Je me sens capable de refaire un test complet de l'application sans tutoriel

- D'accord

Qu'avez-vous ressenti en voyant ce que représentait votre consommation hebdomadaire ?

J'ai été choqué mais après réflexion, pas étonné

Qu'avez vous pensé du fait de voir votre consommation d'eau ? Vous attendiez-vous voir cette taille de bloc d'eau en Réalité Augmenté ?

Non pas du tout

Comment vous a paru être votre consommation mensuelle / annuelle ?

Immense

Qu'avez-vous pensé de votre décomposition d'eau ? Pensiez-vous que votre consommation était décomposé comme cela ?

Non, je pensais que c'était mieux réparti

Lorsque vous avez vu la consommation d'eau hebdomadaire moyenne d'un individu, qu'avez vu ressenti ?

J'ai été choqué mais après réflexion, pas étonné

L'application va-t-elle avoir un impact sur vos prochaines consommations d'eau ?

Il faudrait mais ça me paraît compliqué

Une suggestion d'amélioration pour cette application ?

Voir son évolution chaque semaine, eau encore plus réaliste, voir les dimensions du cube

Réponse 2

À quel point êtes vous à l'aise avec l'utilisation d'application mobile ?

- À l'aise

Avez vous déjà tester des applications en RA ?

- Oui sur mobile

J'ai testé l'application sur :

- Android

Tracer la surface au sol fut :

- Très facile

L'eau représenté dans la surface au sol est :

- Réaliste

L'ajout de ma consommation d'eau hebdomadaire sur l'application fut

- Très intuitif

La conversion de ma consommation d'eau hebdomadaire en consommation mensuel sur l'application fut

- Très intuitif

L'eau représentée dans le volume une fois après l'ajout de ma consommation fut :

- Réaliste

Décomposer ma consommation d'eau fut

- Très intuitif

La décomposition de l'eau en fonction de ma consommation fut facile à comprendre :

- Complètement d'accord

Réinitialiser la hauteur de la surface fut :

- Intuitif

Supprimer la surface au sol fut :

- Très intuitif

Je me sens capable de refaire un test complet de l'application sans tutoriel

- Complètement d'accord

Qu'avez-vous ressenti en voyant ce que représentait votre consommation hebdomadaire ?

Interloqué

Qu'avez vous pensé du fait de voir votre consommation d'eau ? Vous attendiez-vous voir cette taille de bloc d'eau en Réalité Augmenté ?

Non, ça paraît immense

Comment vous a paru être votre consommation mensuelle / annuelle ?

Affolante

Qu'avez-vous pensé de votre décomposition d'eau ? Pensiez-vous que votre consommation était décomposé comme cela ?

Non mais le graphisme nous permet de mettre en avant les usages et les équipements qui consomment le plus

Lorsque vous avez vu la consommation d'eau hebdomadaire moyenne d'un individu, qu'avez vu ressenti ?

Pauvre planète

L'application va-t-elle avoir un impact sur vos prochaines consommations d'eau ?

Elle devrait, mais sommes nous vraiment capables d'être plus économes

Une suggestion d'amélioration pour cette application ?

Notion d'échelle (mesure de la hauteur)

Réponse 3

À quel point êtes vous à l'aise avec l'utilisation d'application mobile ?

- Moyennement à l'aise

Avez vous déjà tester des applications en RA ?

- Non

J'ai testé l'application sur :

- Android

Tracer la surface au sol fut :

- Facile

L'eau représenté dans la surface au sol est :

- Très réaliste

L'ajout de ma consommation d'eau hebdomadaire sur l'application fut

- Moyennement intuitif

La conversion de ma consommation d'eau hebdomadaire en consommation mensuel sur l'application fut

- Intuitif

L'eau représentée dans le volume une fois après l'ajout de ma consommation fut :

- Très réaliste

Décomposer ma consommation d'eau fut

- Très intuitif

La décomposition de l'eau en fonction de ma consommation fut facile à comprendre :

- Complètement d'accord

Réinitialiser la hauteur de la surface fut :

- Intuitif

Supprimer la surface au sol fut :

- Intuitif

Je me sens capable de refaire un test complet de l'application sans tutoriel

- Moyennement d'accord

Qu'avez-vous ressenti en voyant ce que représentait votre consommation hebdomadaire ?

Impressionnée

Qu'avez vous pensé du fait de voir votre consommation d'eau ? Vous attendiez-vous voir cette taille de bloc d'eau en Réalité Augmenté ?

Oui, on sait qu'on consomme trop mais c'est bien de le visualiser

Comment vous a paru être votre consommation mensuelle / annuelle ?

Sidérant, perturbant

Qu'avez-vous pensé de votre décomposition d'eau ? Pensiez-vous que votre consommation était décomposé comme cela ?

Non, je pensais pas

Lorsque vous avez vu la consommation d'eau hebdomadaire moyenne d'un individu, qu'avez vu ressenti ?

On consomme beaucoup

L'application va-t-elle avoir un impact sur vos prochaines consommations d'eau ?

Ce serait bien que oui. Peut-être... J'espère que oui

Une suggestion d'amélioration pour cette application ?

Lier la consommation à notre d'eau pour avoir une suivi en temps réel

Réponse 4

À quel point êtes vous à l'aise avec l'utilisation d'application mobile ?

- À l'aise

Avez vous déjà tester des applications en RA ?

- Non

J'ai testé l'application sur :

- Android

Tracer la surface au sol fut :

- Moyennement facile

L'eau représenté dans la surface au sol est :

- Réaliste

L'ajout de ma consommation d'eau hebdomadaire sur l'application fut

- Intuitif

La conversion de ma consommation d'eau hebdomadaire en consommation mensuel sur l'application fut

- Très réaliste

L'eau représentée dans le volume une fois après l'ajout de ma consommation fut :

- Intuitif

Décomposer ma consommation d'eau fut

- Très intuitif
- Intuitif
- Moyennement intuitif
- Pas intuitif
- Pas du tout intuitif

La décomposition de l'eau en fonction de ma consommation fut facile à comprendre :

- Complètement d'accord

Réinitialiser la hauteur de la surface fut :

- Moyennement intuitif

Supprimer la surface au sol fut :

- Intuitif

Je me sens capable de refaire un test complet de l'application sans tutoriel

- Pas d'accord

Qu'avez-vous ressenti en voyant ce que représentait votre consommation hebdomadaire ?

Je m'y attendais

Qu'avez vous pensé du fait de voir votre consommation d'eau ? Vous attendiez-vous voir cette taille de bloc d'eau en Réalité Augmenté ?

Ça me paraissait beaucoup (ça fait peur)

Comment vous a paru être votre consommation mensuelle / annuelle ?

Raisnable

Qu'avez-vous pensé de votre décomposition d'eau ? Pensiez-vous que votre consommation était décomposé comme cela ?

Oui

Lorsque vous avez vu la consommation d'eau hebdomadaire moyenne d'un individu, qu'avez vu ressenti ?

C'était non écologique

L'application va-t-elle avoir un impact sur vos prochaines consommations d'eau ?

Oui

Une suggestion d'amélioration pour cette application ?

Traduction fr

Réponse 5

À quel point êtes vous à l'aise avec l'utilisation d'application mobile ?

- Très à l'aise

Avez vous déjà tester des applications en RA ?

- Oui sur mobile

J'ai testé l'application sur :

- Android

Tracer la surface au sol fut :

- Très facile

L'eau représenté dans la surface au sol est :

- Réaliste

L'ajout de ma consommation d'eau hebdomadaire sur l'application fut

- Intuitif

La conversion de ma consommation d'eau hebdomadaire en consommation mensuel sur l'application fut

- Intuitif

L'eau représentée dans le volume une fois après l'ajout de ma consommation fut :

- Moyennement réaliste

Décomposer ma consommation d'eau fut

- Intuitif

La décomposition de l'eau en fonction de ma consommation fut facile à comprendre :

- Complètement d'accord

Réinitialiser la hauteur de la surface fut :

- Pas intuitif

Supprimer la surface au sol fut :

- Très intuitif

Je me sens capable de refaire un test complet de l'application sans tutoriel

- Complètement d'accord

Qu'avez-vous ressenti en voyant ce que représentait votre consommation hebdomadaire ?

Rien

Qu'avez vous pensé du fait de voir votre consommation d'eau ? Vous attendiez-vous voir cette taille de bloc d'eau en Réalité Augmenté ?

Réponse : smiley qui lève les bras

Comment vous a paru être votre consommation mensuelle / annuelle ?

Normal

Qu'avez-vous pensé de votre décomposition d'eau ? Pensiez-vous que votre consommation était décomposé comme cela ?

Oui

Lorsque vous avez vu la consommation d'eau hebdomadaire moyenne d'un individu, qu'avez vu ressenti ?

Je suis dans la moyenne

L'application va-t-elle avoir un impact sur vos prochaines consommations d'eau ?

Non

Une suggestion d'amélioration pour cette application ?

Un tutoriel moins long

Réponse 6

À quel point êtes vous à l'aise avec l'utilisation d'application mobile ?

- Très à l'aise

Avez vous déjà tester des applications en RA ?

- Autre : OUi sur 3ds

J'ai testé l'application sur :

- Androïd

Tracer la surface au sol fut :

- Facile

L'eau représenté dans la surface au sol est :

- Moyennement réaliste

L'ajout de ma consommation d'eau hebdomadaire sur l'application fut

- Très intuitif

La conversion de ma consommation d'eau hebdomadaire en consommation mensuel sur l'application fut

- Très intuitif

L'eau représentée dans le volume une fois après l'ajout de ma consommation fut :

- Réaliste

Décomposer ma consommation d'eau fut

- Intuitif

La décomposition de l'eau en fonction de ma consommation fut facile à comprendre :

- D'accord

Réinitialiser la hauteur de la surface fut :

- Intuitif

Supprimer la surface au sol fut :

- Intuitif

Je me sens capable de refaire un test complet de l'application sans tutoriel

- Complètement d'accord

Qu'avez-vous ressenti en voyant ce que représentait votre consommation hebdomadaire ?

Moyennement étonné

Qu'avez vous pensé du fait de voir votre consommation d'eau ? Vous attendiez-vous voir cette taille de bloc d'eau en Réalité Augmenté ?

Ça aide bien à se représenter les quantités

Comment vous a paru être votre consommation mensuelle / annuelle ?

Aucune idée

Qu'avez-vous pensé de votre décomposition d'eau ? Pensiez-vous que votre consommation était décomposé comme cela ?

Ça correspond à l'idée que je m'en faisait

Lorsque vous avez vu la consommation d'eau hebdomadaire moyenne d'un individu, qu'avez vu ressenti ?

Ça dépassait le plafond

L'application va-t-elle avoir un impact sur vos prochaines consommations d'eau ?

Aucune idée

Une suggestion d'amélioration pour cette application ? *Pas de réponse.*

Réponse 7

À quel point êtes vous à l'aise avec l'utilisation d'application mobile ?

- Très à l'aise

Avez vous déjà tester des applications en RA ?

- Oui sur mobile

J'ai testé l'application sur :

- Android

Tracer la surface au sol fut :

- Pas facile / relativement compliqué

L'eau représenté dans la surface au sol est :

- Réaliste

L'ajout de ma consommation d'eau hebdomadaire sur l'application fut

- Très intuitif

La conversion de ma consommation d'eau hebdomadaire en consommation mensuel sur l'application fut

- Très intuitif

L'eau représentée dans le volume une fois après l'ajout de ma consommation fut :

- Réaliste

Décomposer ma consommation d'eau fut

- Très intuitif

La décomposition de l'eau en fonction de ma consommation fut facile à comprendre :

- Complètement d'accord

Réinitialiser la hauteur de la surface fut :

- Très intuitif

Supprimer la surface au sol fut :

- Très intuitif

Je me sens capable de refaire un test complet de l'application sans tutoriel

- Complètement d'accord

Qu'avez-vous ressenti en voyant ce que représentait votre consommation hebdomadaire ?

Impressionné de voir ce que ça représente

Qu'avez vous pensé du fait de voir votre consommation d'eau ? Vous attendiez-vous voir cette taille de bloc d'eau en Réalité Augmenté ?

Non je ne m'y attendais pas

Comment vous a paru être votre consommation mensuelle / annuelle ?

Élevé

Qu'avez-vous pensé de votre décomposition d'eau ? Pensiez-vous que votre consommation était décomposé comme cela ?

En pourcentage, plutôt oui

Lorsque vous avez vu la consommation d'eau hebdomadaire moyenne d'un individu, qu'avez vu ressenti ?

C'est assez impressionnant

L'application va-t-elle avoir un impact sur vos prochaines consommations d'eau ?

Peut être qu'il faudrait plus de détail pour pouvoir agir

Une suggestion d'amélioration pour cette application ?

Peut être pouvoir ajuster la consommation de chaque catégorie pour pouvoir jouer sur la quantité d'eau utilisé au lieu du nombre de fois qu'on fait

Réponse 8

À quel point êtes vous à l'aise avec l'utilisation d'application mobile ?

- À l'aise

Avez vous déjà tester des applications en RA ?

- Autre : Oui sur Nitendo ds

J'ai testé l'application sur :

- Android

Tracer la surface au sol fut :

- Facile

L'eau représenté dans la surface au sol est :

- Moyennement réaliste

L'ajout de ma consommation d'eau hebdomadaire sur l'application fut

- Intuitif

La conversion de ma consommation d'eau hebdomadaire en consommation mensuel sur l'application fut

- Très intuitif

L'eau représentée dans le volume une fois après l'ajout de ma consommation fut :

- Moyennement réaliste

Décomposer ma consommation d'eau fut

- Intuitif

La décomposition de l'eau en fonction de ma consommation fut facile à comprendre :

- Complètement d'accord

Réinitialiser la hauteur de la surface fut :

- Moyennement intuitif

Supprimer la surface au sol fut :

Très intuitif

Je me sens capable de refaire un test complet de l'application sans tutoriel

Complètement d'accord

Qu'avez-vous ressenti en voyant ce que représentait votre consommation hebdomadaire ?

Impressionnée

Qu'avez vous pensé du fait de voir votre consommation d'eau ? Vous attendiez-vous voir cette taille de bloc d'eau en Réalité Augmenté ?

Je ne sais pas

Comment vous a paru être votre consommation mensuelle / annuelle ?

Etonnante

Qu'avez-vous pensé de votre décomposition d'eau ? Pensiez-vous que votre consommation était décomposé comme cela ?

A peu près

Lorsque vous avez vu la consommation d'eau hebdomadaire moyenne d'un individu, qu'avez vu ressenti ?

Je ne sais pas

L'application va-t-elle avoir un impact sur vos prochaines consommations d'eau ?

Oui.

Une suggestion d'amélioration pour cette application ?

Je ne suis pas dans le métier.

Réponse 9

À quel point êtes vous à l'aise avec l'utilisation d'application mobile ?

- À l'aise

Avez vous déjà tester des applications en RA ?

- Oui sur mobile

J'ai testé l'application sur :

- Android

Tracer la surface au sol fut :

- Facile

L'eau représenté dans la surface au sol est :

- Moyennement réaliste

L'ajout de ma consommation d'eau hebdomadaire sur l'application fut

- Intuitif

La conversion de ma consommation d'eau hebdomadaire en consommation mensuel sur l'application fut

- Intuitif

L'eau représentée dans le volume une fois après l'ajout de ma consommation fut :

- Réaliste

Décomposer ma consommation d'eau fut

- Intuitif

La décomposition de l'eau en fonction de ma consommation fut facile à comprendre :

- Complètement d'accord

Réinitialiser la hauteur de la surface fut :

- Moyennement intuitif

Supprimer la surface au sol fut :

- Moyennement intuitif

Je me sens capable de refaire un test complet de l'application sans tutoriel

- Moyennement d'accord

Qu'avez-vous ressenti en voyant ce que représentait votre consommation hebdomadaire ?

Comparer à la moyenne c'est correcte

Qu'avez vous pensé du fait de voir votre consommation d'eau ? Vous attendiez-vous voir cette taille de bloc d'eau en Réalité Augmenté ?

Intéressant

Comment vous a paru être votre consommation mensuelle / annuelle ?

Par regardé le mensuelle

Qu'avez-vous pensé de votre décomposition d'eau ? Pensiez-vous que votre consommation était décomposé comme cela ?

Je n'y avais pas pensé

Lorsque vous avez vu la consommation d'eau hebdomadaire moyenne d'un individu, qu'avez vu ressenti ?

C'est instructif

L'application va-t-elle avoir un impact sur vos prochaines consommations d'eau ?

Je ne penses pas

Une suggestion d'amélioration pour cette application ?

Pr chaque info donné, nous donné les valeurs de réf (pas que sur la conso totale des foyer)

C Diagramme de classe

