



---

# Mission de fin d'études

## Find Your Way

---

AUBAY

*Maître de stage :*  
Nathan CANTAT

*Jury de stage :*  
Arnaud BANNIER

*Auteur :*  
**Nicolas CISTERNAS**

28 février - 31 août 2022

## **Résumé**

Vous donnerez une description du sujet et des grandes parties de l'ouvrage. Il s'agit ici de motiver un lecteur potentiel en lui décrivant le contenu du document et les implications que l'on peut en tirer,

## **Abstract**

Abstract in English

## Table des matières

<b>1</b>	<b>Remerciements</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Introduction et contexte</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>État de l’art (8 à 10 p)</b>	<b>8</b>
3.1	Recherches bibliographiques . . . . .	8
3.1.1	Wearable Travel Aid for Environment Perception and Navigation of Visually Impaired People . . . . .	8
3.1.2	CDSFusion : Dense Semantic SLAM for Indoor Environment Using CPU Computing . . . . .	11
3.1.2.1	Le module VIO . . . . .	11
3.1.2.2	Le module de segmentation sémantique . . . . .	12
3.1.2.3	Le module de reconstruction 3D . . . . .	12
3.1.3	Towards Real-time Semantic RGB-D SLAM in Dynamic Environments . . . . .	13
3.1.4	ORB-SLAM2 : an Open-Source SLAM System for Monocular, Stereo and RGB-D Cameras . . . . .	14
3.1.5	ORB-SLAM3 : An Accurate Open-Source Library for Visual, Visual- Inertial and Multi-Map SLAM . . . . .	15
3.1.6	A Wearable Navigation Device for Visually Impaired People Based on the Real-Time Semantic Visual SLAM System . . . . .	16
3.1.7	An Indoor Wayfinding System based on Geometric Features Aided Graph SLAM for the Visually Impaired . . . . .	17
3.1.8	DGS-SLAM A Fast and Robust RGBD SLAM in Dynamic Environments Combined by Geometric and Semantic Information . . . . .	18
3.2	Synthèse . . . . .	19
3.3	Conclusion . . . . .	20
<b>4</b>	<b>Les dimensions techniques du projet (8 à 12 p)</b>	<b>21</b>
<b>5</b>	<b>Les dimensions humaines et managériales (3 à 5 p)</b>	<b>22</b>
<b>6</b>	<b>Conclusion (2 à 3 p)</b>	<b>23</b>
<b>7</b>	<b>Bibliographie</b>	<b>24</b>
<b>8</b>	<b>Annexes</b>	<b>25</b>

# 1 Remerciements

Je remercie Éric REMILLERET et Nathan CANTAT, mes maîtres de stage, ainsi que Wael NASR, pour m’avoir donné l’opportunité de rejoindre Aubay Innov’, qui s’est avérée être une expérience intéressante et instructive, ainsi que pour l’aide à la relecture de ce rapport.

Je remercie Anne-France GALLAND, qui a largement contribué à la phase de suivi et d’organisation du projet, par ses interventions lors des réunions hebdomadaires et pour le temps qu’elle a pris pour la relecture de ce rapport.

Je remercie Jean-Philippe CUNNIET, mon tuteur de stage ainsi qu’Arnaud BANNIER, le jury de cette mission de fin d’études, pour le temps qu’ils ont passé à relire et évaluer ce rapport de stage ainsi que la soutenance de stage.

Je tiens à remercier toute l’équipe avec laquelle j’ai travaillé durant mon stage : Nicolas GUILLERMAIN et Mathieu MONNERET avec qui j’ai travaillé lors de la phase d’état de l’art et de preuve de concept. Mélissa WANG et Jeffrey MENUJIER avec qui j’ai principalement travaillé lors de la phase projet. Jean-Baptiste CHANIER, Victor CHAVEROT, Jean-Noël CLINK, Ophélie PHONCHAREUN, Miora RASOLOFONERA et Rémi VIDAL avec qui j’ai échangé tout au long du stage concernant leurs parties du projet.

Je tiens également à remercier la direction générale d’Aubay pour leur accueil et leur écoute ainsi qu’Ophélie CHEVALIER, campus manager, pour tous les événements qu’elle a pu organiser et qui ont permis d’établir un climat chaleureux entre les différents groupes.

Enfin, je remercie les autres étudiants d’Aubay Innov’ avec lesquels j’ai eu l’occasion d’échanger aussi bien humainement que techniquement.

## 2 Introduction et contexte

Mon stage s'est déroulé dans une entreprise appelée Aubay, pour une durée de 6 mois (du 28 février 2022 au 31 août 2022). En détail, Aubay est une ESN (Entreprise de Services Numériques) qui a été fondée par Christian Aubert en 1998 et dont le siège social est situé au 13 rue Louis Pasteur à Boulogne-Billancourt. L'entreprise est spécialisée dans les domaines liés à la finance, à l'assurance et à la banque et est également impliquée dans divers marchés, tels que les télécoms, les services, les réseaux, l'énergie et les transports. Aubay accompagne la transformation et la modernisation des systèmes d'information de ses clients. Ils opèrent sur des marchés à forte valeur ajoutée, en France comme en Europe. C'est un acteur référent de la transformation digitale. Son secteur d'activité est centré autour du conseil sur tout type de projet technologique. C'est une ESN cotée en Bourse (SBF 250) et 46% du capital est détenu par les managers. Les chiffres clés concernant Aubay sont présentés dans la Figure 1 ci-après. En 2022, l'entreprise emploie 7306 travailleurs, dont 2728 en France. Selon son site internet, Aubay est implanté dans 7 pays européens, et a réalisé un chiffre d'affaires de 470,6 M€ en 2021. D'ailleurs, ces dernières années, l'entreprise a connu une forte croissance de 10,4% en 2021, qui coïncide avec une augmentation constante des effectifs de l'entreprise, passant de 4600 employés en 2015 à plus de 7000 aujourd'hui.

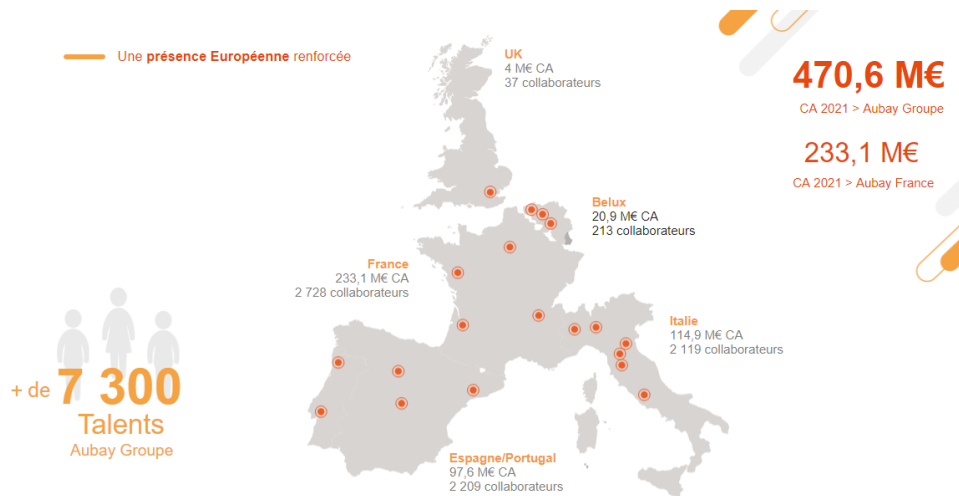


FIGURE 1 – Chiffres clés pour Aubay en 2021.

J'ai eu le privilège d'effectuer mon stage au sein de l'unité "Aubay Innov'" qui est la division d'Aubay France dédiée à la recherche et à l'innovation. Ses membres sont impliqués dans différents projets, chacun lié à la data science, l'analyse de données ou tout autre domaine liés aux nouvelles technologies numériques. L'objectif de l'unité est d'acquérir les connaissances et le savoir-faire pour construire des solutions durables et innovantes adaptées aux besoins futurs des clients. Les projets dirigés dans la cellule innovation d'Aubay ne sont donc soumis à aucun client pendant leur réalisation, ce qui laisse l'opportunité aux stagiaires d'expérimenter autant qu'ils le souhaitent durant leur stage. Chaque année, cette unité donne la chance à des dizaines de stagiaires d'améliorer ou de perfectionner leurs connaissances relatives à la science des données en leur laissant l'opportunité de découvrir et d'expérimenter les technologies les plus innovantes disponibles dans les domaines de la recherche. Par ailleurs, l'unité "Aubay Innov'" est largement considérée comme une source de recrutement pour l'entreprise, qui a souhaité cette année engager environ 800 nouveaux collaborateurs en France.

C'est dans ce cadre que ma mission de fin d'études a débuté. Le projet "Find Your Way" (FYW), qui représente l'expérience que je vais détailler dans ce document, a été lancé en février 2022 et a pour objectif de créer une application embarquée sur des lunettes, basée sur des algorithmes capables de reconnaître les éléments de l'environnement immédiat d'un utilisateur malvoyant pour le guider vers des lieux ou l'avertir d'obstacles présents sur son chemin tels que des chaises ou une personne par exemple. Un objectif majeur de ce projet est également de localiser l'utilisateur dans son environnement afin de lui permettre de retrouver son chemin jusqu'à un endroit précédemment enregistré et de le guider avec des indications de direction et d'orientation dans ses déplacements en intérieur en temps réel, le tout répondant à un système de commandes vocales.

Les systèmes d'aide automatisés au déplacement de personnes malvoyantes existent déjà sur le marché et nécessitent de fournir une carte du bâtiment avec les lieux importants préalablement renseignés afin de rendre le guidage possible. Ce projet vise à s'affranchir de cette contrainte afin de permettre une plus grande polyvalence pour ce genre d'outil. Le projet a été séparé en plusieurs parties délimitées par des dates clés qui sont présentées dans la Figure 2 avec les livrables associés à chaque fin de phase. La prise en main du projet a démarrée début février, s'en est suivi la partie concernant les états de l'art (EA sur la Figure 2) qui devait être réalisée entre mi-février et mi-mars en parallèle du Design Thinking qui nous a permis de cadrer

et définir le projet par rapport aux besoins de l'application et les tâches à accomplir. La phase de preuve de concept qui a suivi a duré jusqu'à mi-mai. Une fois ces étapes réalisées nous avons pu passer à la phase projet afin de réunir toutes les preuves de concept et concevoir l'application de démonstration nécessaire à la journée des stagiaires (JDS) du 7 juillet, moment phare pour le pôle innovation de chez Aubay où tous les stagiaires présentent leurs projets lors d'une démonstration auprès des directeurs généraux et directeurs commerciaux de l'entreprise.

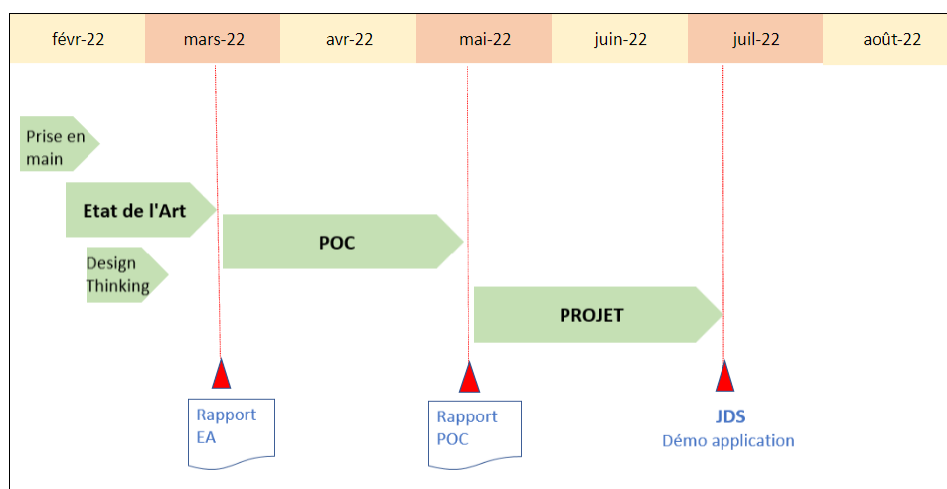


FIGURE 2 – Planning prévisionnel du projet FYW.

J'ai réalisé ce projet dans une équipe de 11 stagiaires, tous en stage de fin d'études. Étant donné les multiples parties concernant le projet, à savoir la détection d'objets, la localisation de l'utilisateur et la gestion des interactions vocales, nous avons dû nous séparer en 3 groupes afin de réaliser les états de l'art et les preuves de concept. J'ai personnellement travaillé sur la partie s'intéressant à la localisation et le guidage de l'utilisateur dans son environnement.



### 3 État de l’art (8 à 10 p)

#### 3.1 Recherches bibliographiques

Dans cette section je présente les recherches bibliographiques que j’ai pu effectuer avec mon groupe lors de la phase d’état de l’art. 8 publications ont été retenues, nous les avons confrontées et comparées afin de n’en sélectionner qu’une sur laquelle nous allons nous concentrer lors de la phase de preuve de concept.

##### 3.1.1 Wearable Travel Aid for Environment Perception and Navigation of Visually Impaired People

L’appareil consiste en une caméra grand public rouge, vert, bleu avec de la profondeur (RGB-D pour red, green, blue, depth) et une unité de mesure inertielle (IMU pour Inertial Measurement Unit), c’est un capteur qui consiste généralement en des gyroscopes pour mesurer des vitesses angulaires et des accéléromètres pour mesurer la force. Ces appareils sont montés sur une paire de lunettes et reliés à un téléphone. L’appareil proposé dans cette solution se sert de la continuité de la hauteur du sol entre les images adjacentes pour segmenter le sol avec précision et rapidité pour ensuite chercher la direction du mouvement en fonction du sol. Un réseau de neurones à convolution (CNN pour Convolutional Neural Network) léger utilisé pour la reconnaissance d’objets est déployé sur le téléphone pour améliorer la capacité de perception des personnes malvoyantes (VIP pour Visually Impaired Person) aidées par le dispositif et ainsi améliorer le système global. Ce petit CNN permet de récupérer des informations concernant les endroits aux alentours et l’orientation des objets environnants. Les interactions personne-machine se font par un module audio introduisant un bip pour alerter l’utilisateur des obstacles présents sur son chemin, de la reconnaissance vocale afin de réagir aux commandes vocales de l’utilisateur et pour exprimer à l’oral les informations sur l’environnement. Le schéma de fonctionnement du système est présenté dans la Figure 3.

Le système de navigation est composé d’un module de localisation intérieur (un algorithme VSLAM (Visual Simultaneous Localization and Mapping) est utilisé), d’un module de localisation extérieur (des outils tels qu’un GPS, un IMU et un filtre de Kalman sont utilisés), d’un module de prévision de chemin qui est décrit dans des publications précédant celle-ci, d’un module d’évitement d’obstacles (segmentation du sol par la méthode Otsu et l’algorithme RANSAC (Random Sample Consensus)). Une illustration du



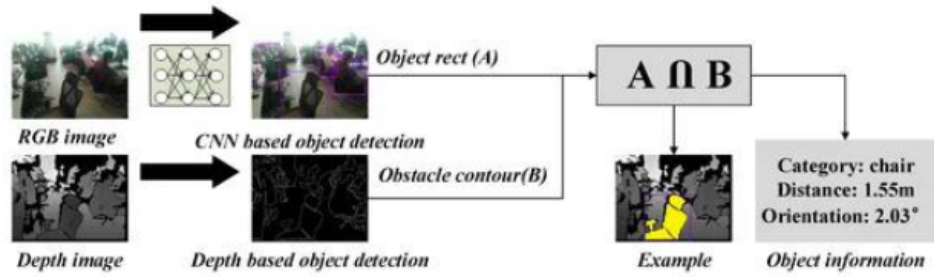


FIGURE 5 – Schéma présentant le fonctionnement du système de reconnaissance d'objets.

trouver un moyen de créer cette carte intérieur en temps réel.

### 3.1.2 CDSFusion : Dense Semantic SLAM for Indoor Environment Using CPU Computing

/! Relire pour compléter les acronymes et explications manquantes.

La solution CDSFusion se sert d'images RGB comme l'article précédent ainsi qu'un capteur IMU comme paramètres d'entrée et est composé de 3 modules imagés dans la Figure 6 :

**3.1.2.1 Le module VIO** Le module d'odométrie visuelle-inertielle (VIO pour Visual-Inertial Odometry) se sert des entrées pour estimer avec précision la position afin de proposer une trajectoire. Ce module VIO est basé sur VINS-Mono. Les features FAST ont été adaptées pour accélérer le VIO à la place des feature Shi-Thomas corner et la profondeur a été introduite afin d'obtenir une échelle plus précise. Les résultats expérimentaux montrent que les features FAST augmente la rapidité du système d'une manière plus conséquente que les features Shi-Tomas et ORB avec la même précision et robustesse. Ce module est composé de 3 parties :

Visual-Inertial Frontend : Cette partie prend en charge le traitement des données issues des capteurs. Les mesures effectuées par le capteur IMU sont préintégrées entre deux images consécutives, le frontend de vision détecte les FAST corners et les traque entre les images consécutives en utilisant l'algorithme KLT optical flow.

Back-End : est utilisé pour fusionner les mesures traitées afin d'obtenir l'estimation de la position. Une optimisation non-linéaire est utilisée pour régler le problème des fenêtres glissantes en utilisant le solveur Ceres

Le module de détection de boucle : est utilisé pour relocaliser et optimiser le calcul de la position en fonction de la boucle détectée. En effet, une boucle se produit lorsque l'on a réalisé une boucle dans le parcours d'un chemin, il devient alors inutile de recalculer la position tant que l'utilisateur se situe dans cette boucle, on peut alors facilement optimiser le calcul de la position en se basant sur des calculs précédemment effectués. Cela se base sur la bibliothèque DBoW2 qui est à l'état de l'art de la reconnaissance d'endroits par sac de mots (bag of words approach). De même, lorsqu'une boucle est détectée, une optimisation est possible pour le calcul de la position globale. Cette optimisation est similaire à la méthode VINS-Mono.

**3.1.2.2 Le module de segmentation sémantique** La segmentation sémantique résulte d'images RGB en entrée qui sont acquises en temps réel en utilisant le module de segmentation PSPNet. L'implémentation originale de PSPNet est faite avec PyTorch. Le module de segmentation sémantique traite chaque image RGB and retourne des vecteurs indiquant la probabilité d'appartenance à une classe pour chaque pixel. Ils classifient et colorent chaque pixel en fonction de la plus haute probabilité d'appartenance à une classe. L'image segmentée finale est composée des pixels colorés et est transmise au module de reconstruction 3D.

**3.1.2.3 Le module de reconstruction 3D** Le nuage sémantique local est généré en utilisant une image sémantique (générée par le module précédent) et une carte de profondeur. Ce nuage local servira à produire un nuage global une fois qu'il sera combiné avec l'estimation de position de la caméra depuis le module VIO. Pour construire une carte 3D globale qui soit précise, un modèle basé sur des Voxels est utilisé pour filtrer le bruit et extraire un mesh global. À chaque image importante (Keyframe), la carte de profondeur courante est transformée en nuage de points 3D, ensuite les options Bovblox et FAST sont adaptées, le nuage local de points 3D est transformé en mesh local et ensuite ce mesh local est intégré dans le mesh global. L'ensemble de cette procédure est réalisée en temps réel sur CPU.

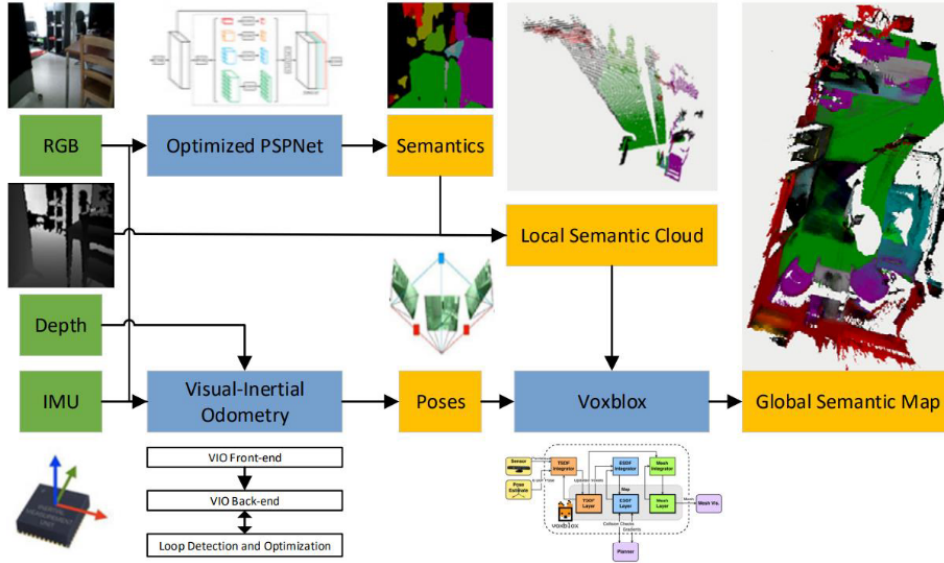


FIGURE 6 – Schéma présentant le fonctionnement du système proposé.

### 3.1.3 Towards Real-time Semantic RGB-D SLAM in Dynamic Environments

#### **3.1.4 ORB-SLAM2 : an Open-Source SLAM System for Monocular, Stereo and RGB-D Cameras**

### **3.1.5 ORB-SLAM3 : An Accurate Open-Source Library for Visual, Visual- Inertial and Multi-Map SLAM**



### **3.1.6 A Wearable Navigation Device for Visually Impaired People Based on the Real-Time Semantic Visual SLAM System**

**3.1.7 An Indoor Wayfinding System based on Geometric Features  
Aided Graph SLAM for the Visually Impaired**

### **3.1.8 DGS-SLAM A Fast and Robust RGBD SLAM in Dynamic Environments Combined by Geometric and Semantic Information**

## 3.2 Synthèse

### 3.3 Conclusion

## **4 Les dimensions techniques du projet (8 à 12 p)**

Description des objectifs/tâches qui vous ont été confiés, votre réussite ou votre contribution à l'atteinte des objectifs collectifs. Vous exposerez les difficultés rencontrées et la manière dont vous les avez abordées. Vous mettrez également en valeur l'originalité éventuelle de votre approche, les choix et décisions que vous aurez prises. Vous mettrez vos travaux et réalisations en perspective par rapport à l'ensemble du projet et son historique.

## **5 Les dimensions humaines et managériales (3 à 5 p)**

Les dimensions humaines et managériales internes à l'organisme d'accueil. Cette partie consiste en une présentation analytique des processus d'entreprise. Selon les cas, elle portera sur la conduite de projet, les aspects organisationnels, la gestion du changement, le travail en groupe, l'énoncé des objectifs individuels et de l'équipe, la contribution à l'atteinte des objectifs, les difficultés rencontrées, les aides reçues, etc. Les difficultés propres à l'entreprise ou au service dans lequel la mission a été effectuée doivent être abordées de façon professionnelle pour que le jury ait une appréciation réaliste des conditions du travail réalisé.

## **6 Conclusion (2 à 3 p)**

La conclusion générale, de quelques pages, porte sur l'ensemble de votre expérience technique et humaine. Une première partie correspond au bilan et une deuxième partie expose les possibilités d'évolution du projet, du produit. Enfin, vous présenterez vos perspectives d'évolution par rapport à votre projet professionnel initial. Vous préciserez les compétences que vous avez développées en école d'ingénieurs et durant votre mission de fin d'études et préciserez vos axes d'amélioration.



## 7 Bibliographie

Les sources extérieures sont bienvenues à condition d'être citées avec précision et mentionnées dans une annexe bibliographique au rapport et d'être multiples et diversifiées. Ces sources doivent être clairement renvoyées aux éléments numérotés de la bibliographie.

## 8 Annexes

- Glossaires des termes techniques, notions fondamentales rappelées simplement,
- Code informatique, éventuellement utile pour démontrer la réalité des livraisons,
- Détails sur le contexte ou sur la structure d'accueil.