
SYSTÈME DE TRANSPORT AUTONOME

Projet Drones - Groupe B1

Concevoir le système de commande, de détection et de supervision d'une flotte de drones pour l'inspection de voies ferrées.



Pilote de la SNCF finalisant les réglages de vol. Source : SNCF.fr

Sommaire

Introduction	4
Partie Gestion de Projet	6
L'équipe	6
Diagramme de cas d'utilisation	6
Cahier des charges	8
Planning	9
S'adapter avec le confinement	10
Partie Technique	11
Matériel à disposition	11
Génération de la trajectoire et Communication	12
Solution initiale	12
Solution finale et donc retenue	14
Deep Learning	16
Solution initiale	16
Solution retenue	16
La structure de SSD et l'entraînement	16
Création de DataSet VOC pour Modèle SSD	17
Création du DataSet pour appliquer le Transfer Learning	18
Résultat des différents modèles	18
Interface de supervision	19
Partie Sociologie	23
Mise en contexte	23
Législation	23
Internationale	23
Française	24
Problématique de la responsabilité et des assurances	25
Acceptabilité sociale des drones	25
Acteurs du changement	26
Quelle politique du changement adopter ?	27
Vis à vis de la SNCF	27
Ouverture aux autres domaines	32
Bilan	33
Bibliographie	34

Introduction

La SNCF exploite des drones volants et rampants pour la surveillance et la maintenance de ses infrastructures ferroviaires **depuis 2014**. L'activité a suscité en 2017 la création d'Altametris, une filiale à part entière, dédiée à la bonne gestion de ces outils à forte valeur ajoutée.



Drone Asctec Falcon 8 utilisé par la SNCF.

Les principaux usages sont :

- Maintenance et surveillance des infrastructures ferroviaires sans interruption de trafic,
- lutte contre les actes de malveillance comme le vol de métaux,
- collecte de données par le biais de capteurs pour modéliser des installations industrielles,
- faciliter la prise de décisions dans l'optique de travaux.

Ce qui n'était qu'un "pôle Drone" il y a six ans, composé de trois collaborateurs, est devenu en 2017 **Altametris**, une filiale de SNCF Réseau totalement dédiée à cette

activité et composée d'une **trentaine d'experts** (télépilotes, ingénieurs, analystes, développeurs).

La flotte actuelle est composée de **12 drones**.

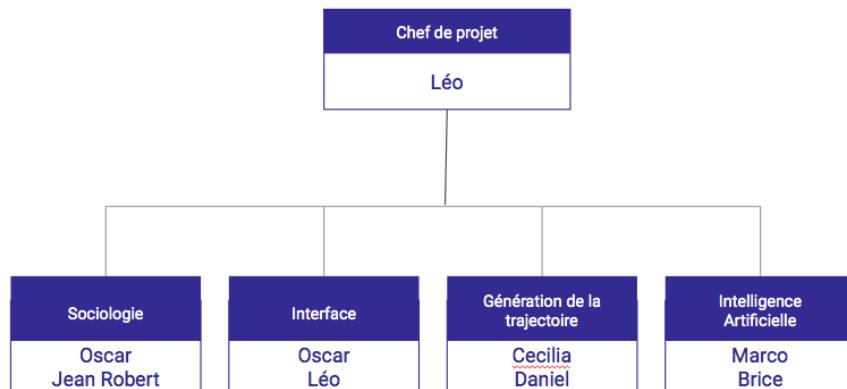
En appui aux équipes chargées de la surveillance d'une zone, les drones recherchent et détectent la présence humaine **de jour comme de nuit**, par reconnaissance photo et/ou vidéo. Une surveillance par drone est réalisée six heures par nuit de façon permanente, sur un rayon de 15 km. Altametris est la seule société en France ayant la dérogation de la DGAC (Direction Générale de l'Aviation Civile) au vol BVLOS (Beyond Visual Line Of Sight : hors vue) de nuit.

Partie Gestion de Projet

Cette partie explique comment le projet a évolué. Nous allons étudier :

- l'organisation de l'équipe
- le diagramme de cas d'utilisation,
- le cahier des charges fixé initialement et voir s'il a été respecté,
- le planning initial et le comparer à ce qu'il est réellement advenu.

L'équipe

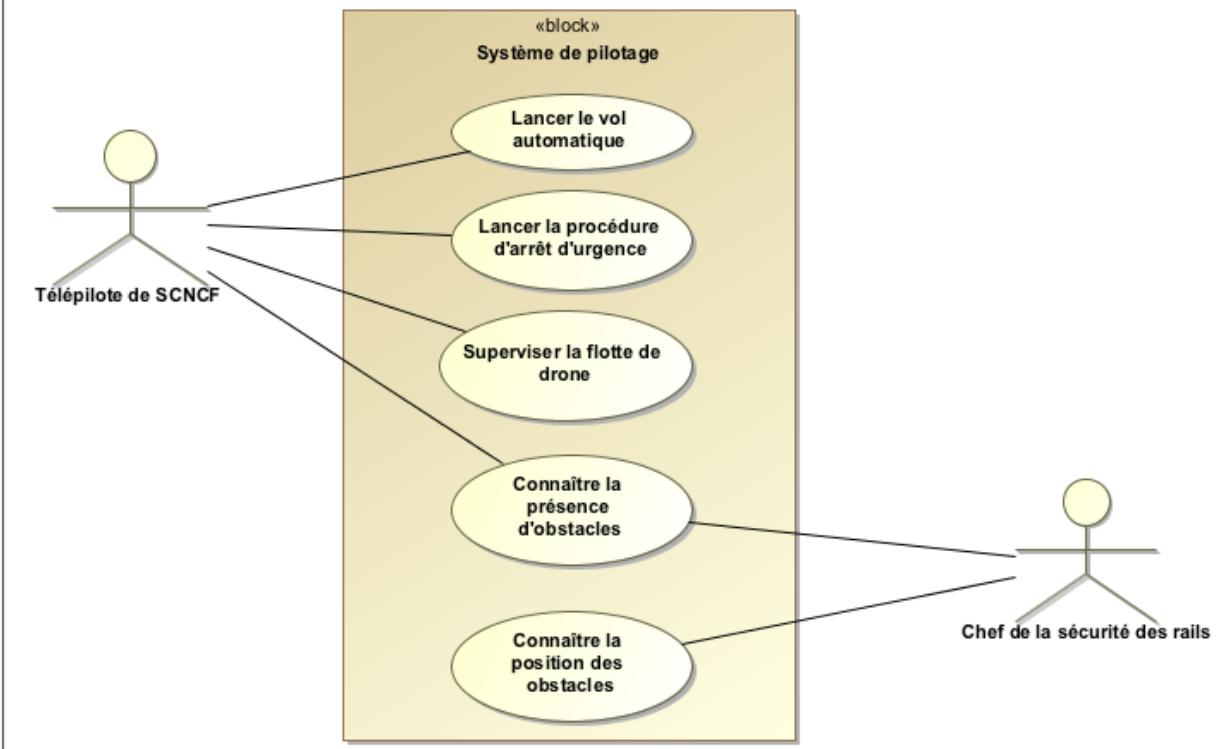


Léo a été désigné comme contact privilégié avec le client (SNCF), a activement participé à la mise en place des groupes en fonction des compétences de chacun, a été désigné animateur des réunions et a pris contact avec M. Verbrugghe pour l'achat de matériel.

Diagramme de cas d'utilisation

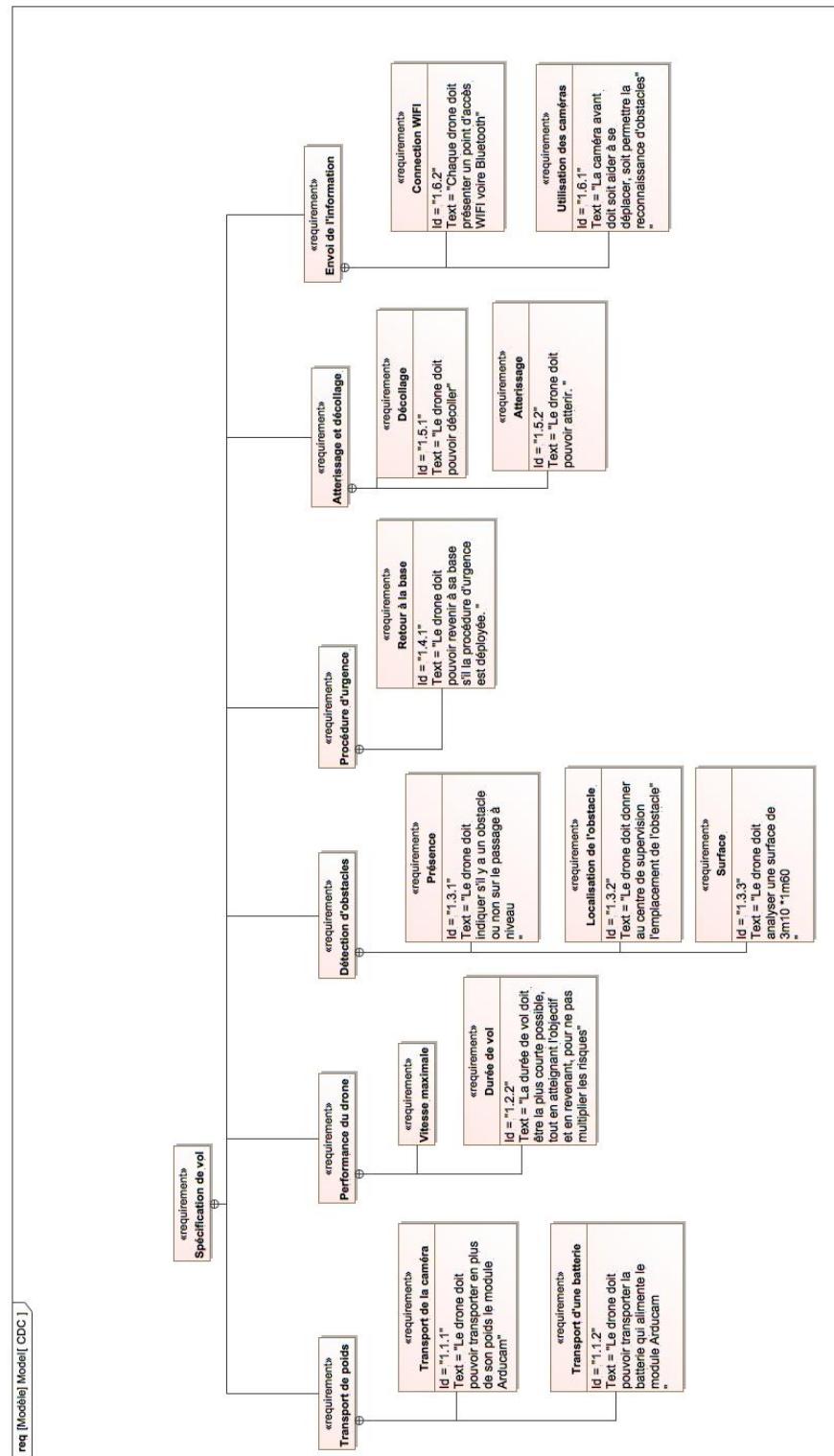
Nous avons considéré, comme l'oblige la loi, de mettre en place deux utilisateurs. Aujourd'hui, un **tel vol autonome n'aurait pas le droit de voir le jour** (un télépilote doit conduire le drone, et un agent devrait avoir en vue le drone), mais pour ce projet, nous oublions cet aspect.

uc [Modèle] Model[Diagramme d'utilisation]



Cahier des charges

Avec les premières réunions avec le client, nous avons pu établir ce cahier des charges:



Nous allons voir qu'il nous a été impossible de localiser le drone à proprement parler dans une pièce.

Planning

Dès lors que nous avions compris les attentes du client et esquissé les grandes lignes de notre projet, nous avons pu définir le planning de ce projet.

Néanmoins avec la crise sanitaire actuelle, deux imprévus majeurs se sont hissés (en rouge).

	Sem. 1 -21 sept.	Sem. 2 - 28 sept.	Sem. 3 - 5 oct.	Sem. 4 - 12 oct.	Sem. 5 - 19 oct.	Sem. 6 - 26 oct.	Sem. 7 - 2 nov.	Sem. 8 - 9 nov.
Prise de connaissance du sujet								
Vague COVID école								
Rédaction du cahier des charges								
Recherches bibliographiques								
Cours d'IA								
Génération de la trajectoire								
Interface								
Machine Learning								
Vacances								
Semaine challenge								
Commande de matériel								
Réunions client								
Confinement								
Présentation finale								
Merge de tous les algorithmes								

S'adapter avec le confinement

Le confinement ayant été décrété deux semaines avant la fin du projet – qui nous le savons tous sont souvent les plus cruciales – , notre équipe a dû s'adapter.

Même si notre projet porte , pour une grande partie, sur du machine learning, et est donc compatible avec du télétravail, ce n'était pas le cas pour le reste. La maquette étant à Centrale, nous ne pouvions plus nous entraîner dessus ni prendre des photos pour le machine learning.

La plupart de l'équipe était à la résidence pour cette période de confinement, donc le travail a pu continuer. Nous avons donc dessiné des obstacles, et opté pour une simulation d'obstacles et de déplacement.

Partie Technique

Nous nous sommes mis dans la situation suivante: chaque drone de la flotte doit se rendre à un passage à niveau pour vérifier qu'il n'y a pas d'obstacle sur la voie. Pour la détection, c'est donc une **approche statique** que l'on a adoptée ; les drones ne remontent pas les rails tout en inspectant. En effet, comme nous le verrons dans la partie sociologie, la SNCF elle-même n'envisage pas cette méthode et nous voulions tout d'abord nous contenter d'une solution plus simple mais au moins fonctionnelle. Par ailleurs, le risque de collision avec un train arrivant est important.

Matériel à disposition

Les drones suivent les spécifications de TELLO EDU (Ryzerobotics, 2018), recevant des commandes de mouvement via Wi-Fi. L'interface de contrôle de commande standard est une application mobile. Cependant, comme on a besoin d'un code plus détaillé pour la reconnaissance d'image et le contrôle des mouvements, **nous avons dû utiliser des codes Python** qui permettent à l'ordinateur de communiquer avec chaque drone.

Les drones sont identiques et possèdent une caméra à l'avant, deux capteurs de hauteur par rapport au sol en dessous et un capteur de reconnaissance pour les plates-formes de localisation. Toutefois, **ces plateformes n'induisent pas la meilleure précision**. Nous avons fait des tests selon la spécification *Mission Pad User Guide* (Ryzerobotics, 2018) et on a vu qu'elles génèrent **beaucoup d'erreurs** et qu'elles ont **besoin d'une très forte luminosité** pour pouvoir être pertinentes.



Exemple des plate-formes de localisation des drones

Génération de la trajectoire et Communication

Solution initiale

Nous sommes partis sur une solution comprenant une flotte de trois drones. Chaque drone présente un **point d'accès Wi-Fi différent**, et les trois **ont la même IP**. Ainsi, pour réaliser la communication de commande des trois drones, l'idée initiale était d'utiliser 3 machines, une pour se connecter à chaque drone, et une quatrième pour intégrer la communication avec les trois machines précédentes. De cette manière, les **centres de commandement et de supervision étaient isolés**, ce qui permettait d'intégrer plus facilement d'autres centres de supervision.

Trois Raspberry Pi devaient s'occuper des commandes, où chaque Raspberry Pi se connectait à un drone via Wi-Fi. La liaison aux trois Raspberries via Ethernet — à l'aide d'un routeur — se fait quant à elle via un ordinateur commun. L'idée de faire des liens avec les Raspberries était de mettre en œuvre les connaissances acquises en cours. Cependant, l'administration d'eux est devenue irréalisable, puisqu'on **n'avait pas un écran et un clavier par chacun**. Enfin, on aurait besoin d'échanger chaque Raspberry Pi par un ordinateur commun.

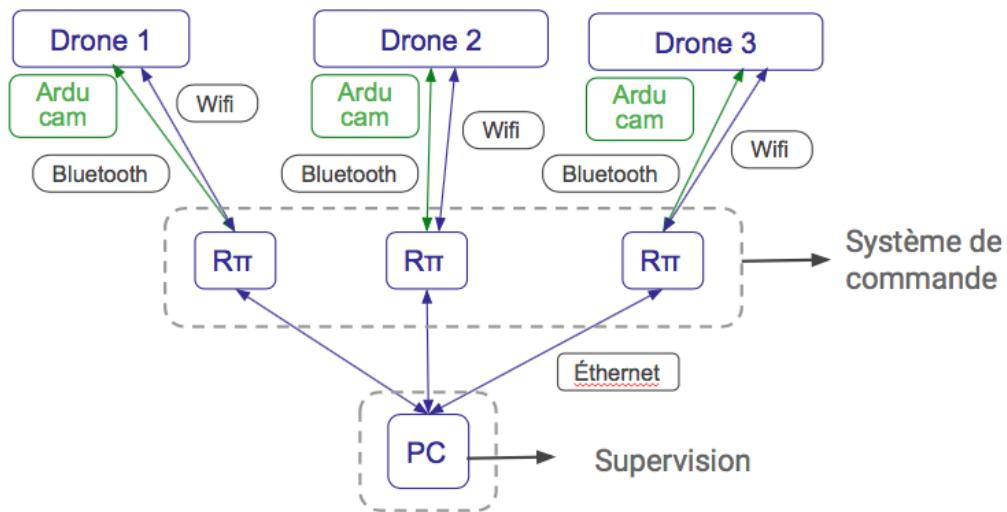


Schéma de la première proposition retenue

En ce qui concerne la localisation, on a réalisé quelques tests à l'aide des plates-formes, mais on a vu qu'elles ne sont pas bien précises, ce qui pouvait provoquer des collisions entre drones. Pourtant, la première idée est d'ajouter une **caméra au-dessous de chaque drone** et de l'utiliser pour reconnaître des points de contrôle grâce au machine learning. Des points de vérification de position, représentés par des nombres, auraient été ajoutés à la maquette si nous pouvions y avoir accès. De cette manière, on pourrait localiser chaque drone et précisément des objets sur les rails. De plus, on pouvait faire une bonne communication entre eux et éviter des collisions.

Toutefois, malgré le grand avantage de cette solution (connexion à chacun des drones à son propre Raspberry), nous ne l'avons pas retenue car des tests ont été réalisés et nous avons vu qu'ajouter la caméra avec sa batterie au drone **rendait le système trop lourd**. Par conséquent, le drone ne décollait pas, ou peinait. De plus, nous avons des problèmes de communication Bluetooth entre l'ArduCam et l'ordinateur, car il est un peu lent et nécessite que les appareils soient proches.

Solution finale et donc retenue

En raison des problèmes mentionnés précédemment, la proposition finale est la suivante.

Tout d'abord, nous n'allons commander que deux drones. Les deux drones doivent suivre une trajectoire en même temps que prendre des photos, utilisant la propre caméra du drone. **Leur trajectoire est prédefinie à l'avance avec une séquence.**

Dans cette solution, nous avons évidemment mis en place la **reconnaissance des objets**, par exemple les voitures et les gens. Enfin, nous n'avons pas utilisé l' ArduCam ESP au-dessous de chaque drone.

En outre, quelle que soit la solution retenue, nous avons opté pour une méthode simple pour prévenir les collisions. Du décollage jusqu'à la zone d'inspection, les drones doivent **voler à des altitudes différentes**. Puis, comme nous les envoyons superviser différentes régions de la maquette, le risque de collision diminue.

L'architecture de communication est présentée sur la figure ci-dessous. Chaque drone **reçoit des commandes d'ordinateurs différents**, ce qui constitue les clients. Un **troisième ordinateur sera responsable de la communication avec les autres ordinateurs**, ce qui constitue le serveur. **Un routeur** sera la jonction, en utilisant de l'éthernet. Au lieu de la solution initiale, **cette solution ne sépare pas le système de commande du système de surveillance**. Tous les clients peuvent commander n'importe quel drone. Pourtant, cela présente également un avantage, puisqu'il permet l'insertion de plusieurs centres de centre de commandes.

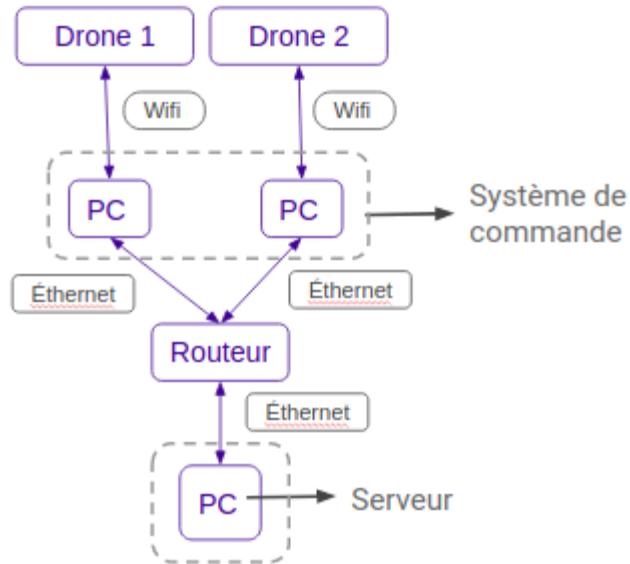


Schéma de la solution retenue

Les deux premiers ordinateurs communiquent avec les drones via Wi-Fi, puisque chaque drone représente un point d'accès. Ils envoient des informations au centre de surveillance par Ethernet. Celle-ci permet l'envoi des commandes pour le décollage/atterrissement. L'ordinateur de serveur ne présente qu'un intermédiaire de communication.

Dans cette solution, on a utilisé la **communication TCP/IP**. On a mélangé ce qui concerne la communication avec les commandes, à travers de *threads*. Tous les codes de commandes et communication utilisent le langage Python.

Deep Learning

Solution initiale

La première solution envisagée est de **créer un dataset d'images** à partir de la **maquette du train** pour ensuite détecter des obstacles sur les voix à l'aide du Deep Learning. Nous avons dû nous tourner vers une autre solution à cause du confinement.

Solution retenue

Pour réaliser la détection des obstacles sur la voie ferrée, nous avons des drones qui peuvent prendre des photos ou une vidéo. Donc notre objectif est le traitement d'image pour la reconnaissance des objets (des obstacles ici) dans une image. Comme cela est similaire à ce que l'on a vu en cours (projet de la reconnaissance d'images), nous avons considéré d'utiliser les **méthodes de deep learning et les réseaux de neurones**.

Il existe de nombreux types de modèle pour la détection d'objets. Nous avons choisi **le modèle SSD** (Single Shot MultiBox Detector) qui est plus simple à mettre en place et à entraîner.

La structure de SSD et l'entraînement

SSD est un réseau convolutif multicouche. Il est construit par un modèle VGG-16 pré-entraîné. Il y a quelques couches convolutives spéciales pour apprendre sur les objets, et trois branches qui travaillent respectivement sur la **reconnaissance des objets**, **la prédiction de centre d'objet** et **la prédiction de la taille de cadre**.

Nous avons utilisé les datasets Pascal VOC 2007 et Pascal VOC 2012 pour l'entraînement du modèle. Les datasets contiennent 20 classes d'objet (aeroplane, bicycle, bird, boat, bottle, bus, car, cat, chair, cow, dining table, dog, horse, motorbike, person, potted plant, sheep, sofa, train, tv monitor) et environ 30000 images.

Pour réaliser la construction du modèle, l'entraînement et le test, nous avons utilisé la source PyTorch et OpenCV. Nous avons réalisé 15 000 époches dans l'entraînement. Finalement nous pouvons marquer des objets dans une image.



Création de DataSet VOC pour Modèle SSD

Nous avons essayé de **créer notre propre dataset VOC** pour réaliser de la détection des obstacles sur la voie. Dans le dataset Pascal VOC, il existe un dossier JPEGImage qui contient des images, un dossier Annotations qui contient des fichier XML pour enregistrer des objets pour chaque image et un dossier ImageSet qui contient des fichiers txt pour séparer des datas pour l'entraînement et pour le test.

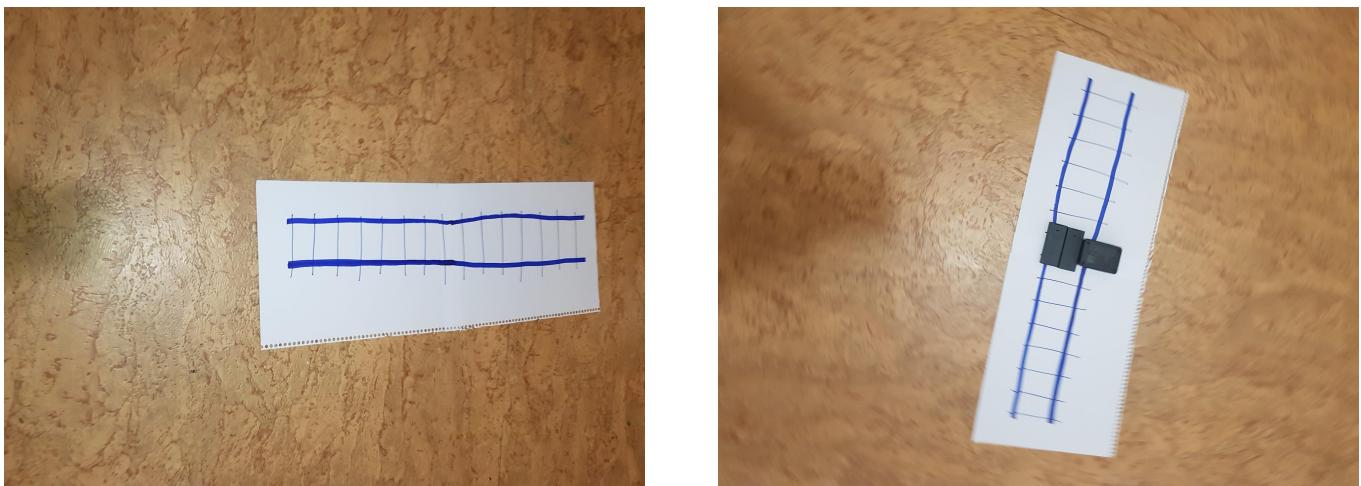
Nous avons pris des images **d' une voie que nous avons créé sur une feuille**, avec obstacle et sans obstacle. Nous utilisons le logiciel labelImg pour créer le fichier

XML pour chaque image. Pour créer les textes nous avons trouvé un code pour réaliser cette opération.

Le dataset que **nous avons créé est utilisable pour le modèle SSD**, mais à cause de la complexité du modèle et la petite quantité du dataset, l'entraînement ne fonctionne pas très bien.

Création du DataSet pour appliquer le Transfer Learning

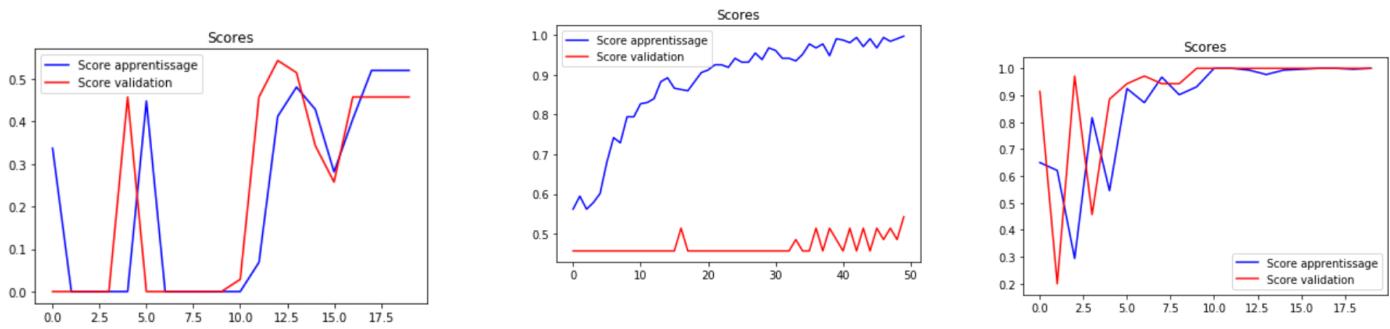
Un autre problème venant de la solution précédente vient du fait qu'on détecte seulement des objets en particulier et non des obstacles sur les rails. On a donc décidé de créer un deuxième Dataset pour appliquer le Transfer Learning. Le Dataset est composé de **276 photos de rails avec obstacles et 291 photos de rails sans obstacles**.



Résultat des différents modèles

Après avoir créé le dataset, nous avons adapté le code du NoteBook Cat_and_Dogs vu en cours pour appliquer des réseaux convolutifs et du Transfer Learning. Nous avons utilisé un modèle avec une couche convolutionnelle de 32 neurones et une couche dense avec 1 neurone. Cependant les résultats n'étaient pas convaincants avec une précision de l'entraînement de **0,5196** et du test de **0,4751**. Nous avons donc testé un modèle plus complexe avec plus de couches. Néanmoins la précision du test n'était pas satisfaisante (**0,5429**).

Nous avons donc décidé d'appliquer le Transfer Learning en utilisant le modèle VGG16, un modèle déjà entraîné sur des millions d'images composé de plus de dix couches convolutionnelles. Ce modèle n'est pas entraîné avec nos propres images mais il sera plus performant que les premiers modèles car il a déjà appris à reconnaître des images. On obtient alors des résultats beaucoup plus intéressants : une précision de test de **0,9429** et d'entraînement de **0,9967**. En entraînant les trois dernières couches de VGG16, ces précisions montent à 1.



Cependant la solution n'a pas pu être implanté directement dans le drone à cause d'un problème de bibliothèques.

Interface de supervision

L'objectif dans cette partie était de mettre en place une **interface de supervision** pour le Client, afin que celui-ci puisse :

- Contrôler les drones à distance ;
- Lancer les drones sur leurs trajectoires respectives ;
- Lancer un drone, chacun sur sa trajectoire, de manière indépendante ;
- Arrêter les drones dans le cas d'une urgence ;
- Contrôler manuellement un Drone ;
- Avoir des données en temps réel à propos des drones ;
- Recevoir les informations quant à la présence d'un obstacle (avec la localisation).

Cette partie est donc la dernière étant donné qu'elle reçoit **toutes les informations des codes précédents** dans le but de les afficher ou de lancer des fonctions. Il a fallu pour cela importer le **module tkinter de python** qui permet de générer des interfaces graphiques comme on le souhaite. Notre solution consistait en **la création d'une première fenêtre** depuis laquelle on pouvait lancer les drones (dans leurs trajectoires respectives), lancer un drone (dans sa trajectoire), contrôler manuellement un drone, le lancement de la fenêtre de supervision, et finalement la fermeture de la fenêtre. En sélectionnant le bouton "supervision des drones", nous avons accès à la fenêtre de supervision sur laquelle nous recevons en temps réel les données des drones en question. Nous pouvons en plus de cela fermer cette fenêtre comme bon nous semble.

Les données retenues parmi toutes les données récupérables sont les suivantes :

- Coordonnées x, y, z ;
- La numéro de la plateforme mid au dessus de laquelle le drone est ;
- La vitesse Vgx, Vgy, Vgz ;
- La batterie restante ;
- Le temps d'utilisation de la batterie.

Le choix de ces données a été établi par rapport à l'utilité de celles-ci pour un contrôleur de drones.

L'interface finale ressemble donc à ceci :



This screenshot shows a detailed supervision interface for two drones, Drone 1 and Drone 2. The interface is titled "Supervision des Drones" and includes a "Fermer la fenetre Supervision des Drones" button.

DRONE 1

x : 34	Vgx : 56	Mid : 1
7 : 56	Vgy : 2	Batterie : 7
Altitude : infos	Vgz : 12	Temps : 76
Obstacle : Oui		
Coordonnees : 87 32 78		
Mid Obstacle : 2		

DRONE 2

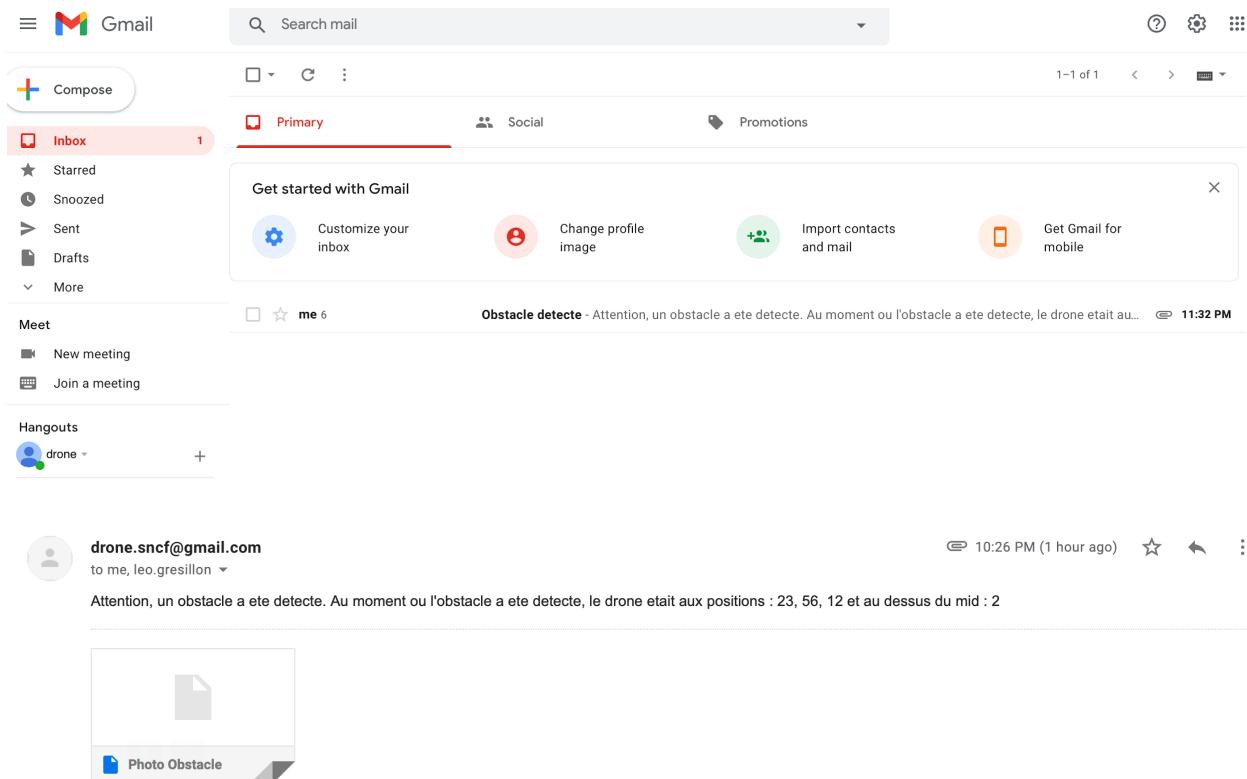
x : 23	Vgx : 56	Mid : 1
y : 11	Vgy : 2	Batterie : 7
Altitude : infos	Vgz : 12	Temps : 76
Obstacle : Oui		
Coordonnees : 76 45 06		
Mid Obstacle : 4		

Les trois labels du bas sont réservés à la détection d'obstacle : Lorsque "Oui" est affiché au niveau du Label Obstacle, les coordonnées et le Mid représentent la position du drone au moment de la détection du drone.

Lors de la mise en pratique du travail, nous nous sommes rendus compte que la réception de la vitesse n'était pas bonne. On a donc affiché l'accélération.

Par la suite, nous avons mis en place l'envoi d'un mail à l'adresse mail drone.sncf@gmail.com (authentification : droneSTA20), qui est l'adresse mail interne de l'entreprise, que le chef de la sécurité des rails utilisera.

Chaque mail envoie l'information à propos d'un obstacle repéré : Coordonnées et midNum du Drone au moment de la photo. De plus, la photo elle-même est envoyée par mail afin que le chef de sécurité des rails puisse se familiariser avec les lieux et l'obstacle, ou encore afin que celui-ci puisse vérifier si le traitement d'images n'a pas présenté une erreur.



Partie Sociologie

Mise en contexte

Vol autonome : consiste à fixer un trajet et de laisser le drone l'effectuer sans surveillance, hors de la vue de tout pilote.

Vol automatisé : vol à vue (d'un opérateur, même amateur) est autorisé dans la mesure où la portée du vol se limite à 100 mètres, la hauteur à 150 mètres, ceci étant valable uniquement pour des zones parfaitement dégagées.

Un drone professionnel se doit d'être équipé d'un système de navigation programmable, de caméras et de capteurs dédiés à l'évitement automatique d'obstacles et de processeurs capables de calculer en temps réel les facteurs extérieurs pour offrir un vol stationnaire ou actif parfaitement stabilisé.

L'intégration des drones dans l'espace public soulève de **nombreuses problématiques**.

Tout d'abord, concernant notre domaine d'étude (c'est-à-dire la SNCF), il va de soi que cela va restructurer la branche s'occupant de la sécurité des rails.

Législation

Internationale

Le marché du drone a connu un véritable essor ces 10 dernières années, et est devenu accessible pour le grand public. Des marques leader (comme DJI, GoPro ou Parrot) proposent désormais des drones de loisir à des prix 'grand public', rivalisant avec les drones professionnels en termes d'automatisation et de vols intelligents.

C'est pourquoi dans de nombreux pays, des **restrictions de plus en plus sévères voient le jour**.

Française

Le vol autonome est une pratique interdite en France, dont l'espace aérien est soumis à la réglementation de la DGAC.

En cas de vol programmé pour effectuer une prise de vue aérienne lors d'un vol en immersion, le fait de piloter un drone avec des lunettes FPV coupe le pilote de son environnement extérieur, **ce qui rend indispensable la présence à ses côtés d'une seconde personne pour surveiller la présence de dangers ou de risques éventuels.**

La France est le troisième pays au monde à utiliser le plus de drones, derrière le Royaume-Uni et les Etats-Unis. Si l'on en croit une étude prospective publiée en mars 2016 par le cabinet Oliver Wyman, le marché français des drones civils pourrait représenter 650 millions d'euros en 2025, alors qu'il en représentait 150 millions en 2015.

La France fait également figure de pionnière car elle a été l'un des premiers pays à légiférer sur ce secteur, qui n'était alors soumis à aucune norme internationale et/ou européenne, avec la mise en place dès 2012 de l'Arrêté relatif à l'utilisation de l'espace aérien par les aéronefs qui circulent sans personne à bord.

L'existant

Pour ce qui est des solutions déjà en place, les détections restent limitées puisque ces dernières ne s'effectuent que sur les passages à niveau (PN). Ces zones de rencontres entre voitures et trains sont les zones les plus dangereuses et celles où l'on recense **le plus d'accidents par an** (une centaine de collision par an).

Pour pallier ces accidents, plusieurs types de signalisation ont été mis en place pour dissuader les conducteurs de s'engager sur un PN au mauvais moment, mais plus récemment, des détecteurs d'obstacles sur les voies au niveau d'un PN ont été mis en place pour prévenir les conducteurs en approche. Malgré tout, cela reste surtout de la prévention puisqu'en général, les erreurs sont faites par les automobilistes au dernier moment et la collision est alors inévitable.

Ensuite, pour les projets à mettre en place ou en développement, on retrouve des systèmes de détection plus poussés comme le TAS et le DOS qui sont supposés respectivement détecter la signalisation latérale et les obstacles à longue distance pour prévenir les collisions.

Problématiques

Problématique de la responsabilité et des assurances

Pour le moment, **les drones n'ont pas de statut juridique défini**. En cas d'accident, cela peut rendre très compliqué la définition de la responsabilité de chaque acteur impliqué. C'est pour cela que pour l'instant, **les drones ne peuvent pas voler librement sans encadrement et n'importe où**.

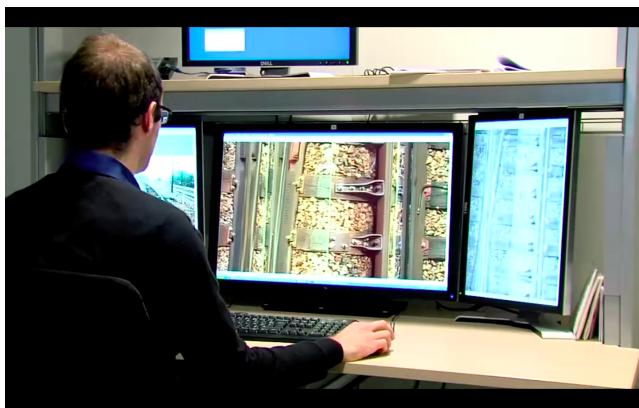
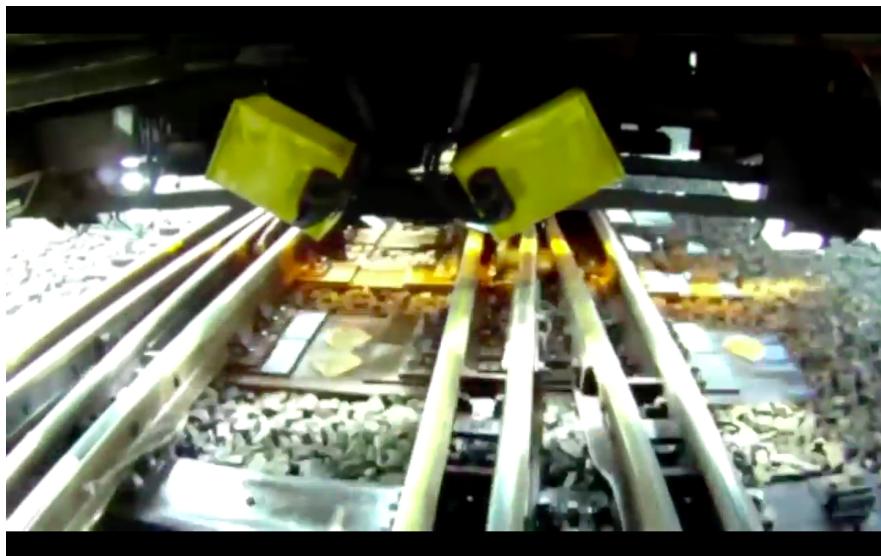
Il se poserait aussi le problème du respect de la vie privée et de l'utilisation malhonnête des drones qui ne nous concerne pas puisque ces derniers ne filmeront que des voies ferrées et seront autonomes.

Acceptabilité sociale des drones

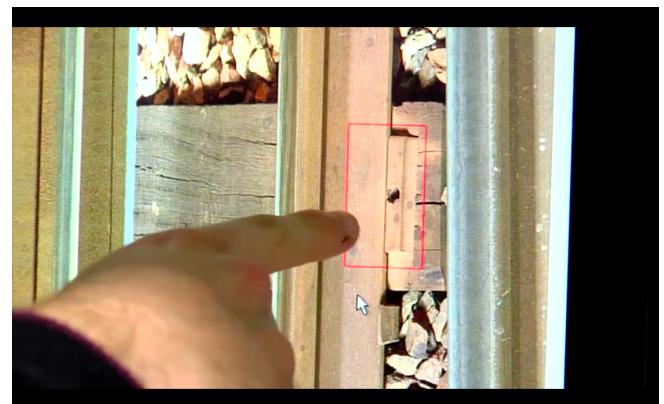
A cause des derniers points cités, les drones ont une mauvaise image générale auprès du public ce qui pourrait rendre leur acceptation compliquée dû au manque d'informations du grand public.

Acteurs du changement

Pour le moment, ce sont des locomotives spéciales, **roulant entre 60 et 80 km/h**, qui permettent cela. Les caméras dirigées sur les rails permettent de reconnaître des détails jusqu'à l'ordre du centimètre. **Le wagon collecte 1 à 2 Go de données par kilomètre.**



Agent spécialisé de la sûreté des trains vérifiant les anomalies sur les rails.



Un tire fond manque ; l'anomalie est détectée visuellement et transmise aux personnes concernées.

Jusqu'à maintenant, malgré les lourds investissements de la SNCF, **l'utilisation concrète des drones n'est que peu développée** (12 drones en service principalement pour vérifier des structures des gares ou aqueducs).

Aujourd'hui, le viaduc de Roquemaure dans le Gard a été inspecté par la SNCF. Les caméras qui équipent le drone permettent de **détecter des fissures de 0,1 mm**. Un expert de SNCF suit les opérations et donne le cas échéant des instructions au pilote. SNCF n'envisage pas de sous-traiter l'analyse des données mais pourrait externaliser la prestation de réalisation des vols avec un drone adapté à ses besoins et équipé de capteurs que SNCF aurait elle-même choisis, testés, voire améliorés à partir d'équipements disponibles sur le marché.

Le mode d'action nécessaire et suffisant implique donc le travail d'un expert de la SNCF et d'un pilote – **ce dernier n'ayant pas le droit de piloter seul**.

D'autres acteurs concernés par ce changement sont les usagers SNCF puisqu'ils doivent accepter de voir leur sécurité au sein des trains géré par des machines. Leur position par rapport au projet se rapproche plus de la crainte que d'une opposition claire puisqu'ici aucun poste n'est menacé.

Quelle politique du changement adopter ?

Vis à vis de la SNCF

Pour que notre sujet d'étude – utilisation de drones pour détecter des obstacles sur la voie ferrée – se mette en place, il faut tout d'abord **mettre en place des protocoles de vols**. En effet, avec des trains en circulation, il semble de prime abord difficile de concilier circulation d'un train à 200km/h et d'un drone inspectant les voies.

Si les autorisations le permettent, une solution efficace serait de lancer cette inspection des rails la nuit, ou alors très tôt le matin comme cela se fait actuellement par wagon.

Un des avantages clef est le **bilan carbone de ce type d'utilisation**. Comme présenté sur la photo suivante, cela se fait à bord d'une locomotive spécialisée, qui se déplace sur les voies. L'analyse des photos se fait en même temps que l'on se déplace.



Ainsi se pose la question d'un réel avantage de l'utilisation des drones. La locomotive utilisée se déplace grâce à une électricité à faible bilan carbone, la vitesse de déplacement peut aller jusqu'à 80 km/h, les agents de la sécurité sont convenablement assis à l'abri des intempéries, la précision des images est très bonne, etc...

D'après la SNCF, l'utilisation de tels drones serait donc pour **éviter le vol des câbles sur les voies ferroviaires** qui sont une des causes principales des retards des trains. Cette infraction coûte environ **30 millions d'euros** chaque année à Réseau Ferré de France (RFF), propriétaire des infrastructures ferroviaires. SNCF et RFF vont recourir aux avions téléguidés, moins chers que les opérations de surveillance confiées aux patrouilles d'hélicoptères (dont le **coût d'intervention atteint 1000 à 1500 euros de**

l'heure, alors que l'achat d'un drone est en moyenne de 3 000€, auquel s'ajoute le salaire des agents en poste).

Selon Sophie Boissard, «ERDF le fait déjà, directrice générale déléguée en charge de la stratégie et du développement à la SNCF. Nous devons désormais passer à la phase industrielle pour pouvoir les utiliser. C'est assez complexe. **Nous devons demander à la Direction générale de l'aviation civile (DGAC) de créer des couloirs aériens pour nous autoriser à les faire circuler».**

Deux types de drones pourraient être utilisés : un ou des drones à voilure fixe qui survoleraient la zone à protéger selon un plan de vol préétabli et un ou des drones à voilure tournante qui seraient utilisés pour les levées de doute si des déplacements suspects étaient détectés.

La surveillance du réseau linéaire apparaît à SNCF comme un objectif moins immédiat. Les missions concernées sont aujourd'hui réalisées par des personnels au sol. Il s'agirait de balayer régulièrement le réseau avec des capteurs dont les images seraient analysées de manière largement automatisée. Les données recueillies et analysées devraient permettre d'un passage à l'autre d'identifier des évolutions susceptibles de mettre en cause la sécurité (végétation envahissante, ravinements, état des talus, des abords, ballasts effondrés, corrosion, dégradations par des actions des riverains ou des animaux...). Les drones utilisés pourraient être des appareils à voilure fixe **d'une masse inférieure à 150 kg** effectuant des vols préprogrammés mais toujours avec un pilote en responsabilité. Certains drones d'ores et déjà sur le marché qui peuvent être équipés d'une nacelle pouvant héberger jusqu'à 30 kg d'instruments de mesure dont certains capteurs capables de voir des détails avec une précision de 2/3 cm et disposant d'**une autonomie de 8 à 10 h de vol** pourraient convenir pour effectuer ce type de missions. **Un géo-référencement du réseau** devra être réalisé au préalable. La problématique de l'accès à l'espace aérien reste à préciser (et pourrait passer par la

mise en place de manière temporaire de couloirs à accès réglementé de forme tubulaire longeant les voies).

Concernant la politique de changement à adopter, il est clair qu'il **faudra former ou recruter de nouveaux télépilotes**. La stratégie adoptée par la SNCF est d'abord d'utiliser la cellule drone comme un soutien pour assurer la sécurité avant de vouloir radicalement supprimer des postes.

Un des postes où la SNCF forme ses pilotes est le centre de formation et d'apprentissage des drones (CFAD) de Nancy qui propose des formations aux nouveaux métiers du drone à destination des futurs professionnels (télépilote, opérateur de prise de vue aérienne, préparation au théorique ULM).

Dans ce rapport, nous nous sommes concentrés sur l'influence de drones vis à vis de la SNCF. Mais comme nous sommes le seul groupe à traiter la question des drones, il peut être intéressant de voir brièvement **quels autres domaines** peuvent se voir radicalement impacter par l'arrivée de ces aéronefs.

Quelques théories pour aider la conduite du changement

Le projet n'étant pas un **projet nécessaire** (c'est pour l'instant une aide complémentaire) au bon fonctionnement des lignes ferroviaires, ce dernier **ne nécessite pas forcément un changement imposé et radical**. En effet, ce qui peut freiner les différents acteurs est plus une méconnaissance du sujet qu'un réel refus de travailler avec cette technologie. Pour essayer de faire passer ce changement, il s'agirait plutôt de travailler sur les mentalités et de les faire évoluer.

Tout d'abord, nous pouvons nous appuyer sur les **travaux de De Vries** qui a étudié les différentes phases par lesquelles passent les acteurs du changement. Il recense en premier lieu la crainte, ici, celle de laisser sa sécurité entre les mains d'une machine. Par la suite, il faudrait essayer de clarifier cette situation et d'où provient cette crainte et comment la faire disparaître.

Dans cette optique, **les travaux de Savoie et Lewin** peuvent nous aider puisque ces derniers essayent respectivement de comprendre les préoccupations des acteurs et les normes sociales des acteurs qui les poussent à refuser ce changement pour Lewin.

Ici, on pourrait donc procéder à la phase de décrystallisation des normes en essayant d'aller chercher les **craintes des acteurs**. Ici, les préoccupations sont surtout sur le changement lui-même et son amélioration continue puisque les acteurs ne sont pas forcément très bien renseigné sur le principe des drones et veulent être sûrs des capacités de ces derniers à les protéger. C'est ici que l'on pourrait utiliser les méthodes de Lewin qui consiste donc à informer le plus possible les acteurs du changement pour changer leurs normes sociales et ainsi entamer la phase de "déplacement" durant laquelle des tests seraient effectués pour rassurer. Ces différentes phases rejoignent celles de clarification et de cristallisation de De Vries.

Pour finir, viendrait en dernier la phase dite "du changement" chez De Vries qui préconise d'imposer un nouvel état d'esprit après avoir convaincu les acteurs du changement pour que ces derniers soient en accord avec le projet. Grâce à ces différentes étapes, non seulement, les acteurs du changement ne serait plus freiner à l'idée d'introduire des drones dans leur milieu mais mieux que cela, ces derniers auraient changé leur façon de penser et pourraient faire plus que seulement accepter le projet mais être en faveur de ce dernier.

Ouverture aux autres domaines

Les drones peuvent être :

- vecteurs de **différents capteurs** : appareils photos ou caméras, fonctionnant le cas échéant en infrarouge, dispositifs pouvant analyser la qualité de l'air pour effectuer des prises de vues pour le monde de l'audiovisuel (télévision, presse, cinéma...) ou pour réaliser des missions d'observation, de surveillance, d'inspection, ces applications étant parfois qualifiées d'industrielles.
- ou comme **vecteurs pour le transport** : de fret, en vue éventuellement de largages en zones hostiles, de supports publicitaires, de dispositifs permettant de relayer les télécommunications, voire de nano-satellites à placer en orbite basse...

Ce dernier point est crucial car il change radicalement la manière de livrer chez les particuliers.

Amazon travaille depuis quelques années sur cette livraison, avec des essais en Australie où les distances sont longues, et les particuliers parfois isolés.

Ce mode de livraison sera dans un futur proche généralisé, et entraînera forcément la non nécessité de livreurs traditionnels.

Les vols de drones lourds dans l'espace aérien utilisé par les avions pilotés ne sont aujourd'hui possibles qu'à titre très exceptionnel (vols de drones militaires, vols évoluant dans des portions d'espaces ségrégées ou vols réalisés pour tester des procédures).

Bilan

Le projet drone est **inédit** en STA. De ce fait , les attentes du client **se construisaient en même temps que nous établissions le cahier des charges**. On pourra retrouver ce cas de figure professionnellement, où il faut être à **l'écoute du client** !

Une fois de plus, nous avons pu voir qu'une équipe est composée de **différents talents**, qu'il faut cibler dès le début, et dont il faut tirer profit au maximum. Certains étaient meilleurs en python (Tkinter, Mail, codes Tello, Deep Learning, etc..), d'autres quant à la mise en place d'une communication TCP/IP et d'autres en gestion de projet.

Ce projet à la fois court (moins que le projet G1/G2 par exemple) et long s'est vu être **chamboulé** par la crise sanitaire actuelle. Cela n'a pas changé énormément notre façon de travailler jusqu'à la mise en pratique de notre travail ; Alors, les tests étaient un peu plus délicats à mettre en place. Évidemment les règles de distanciation sociale ont été respectées lors de retrouvailles physiques.

Par ailleurs, nous pouvons voir qu'un **cahier des charges précis** permet d'une part de savoir ce que veut le client, mais aussi **ce qu'il ne veut pas** ! Il ne faut pas prendre des hypothèses de ce que veut le client pour acquis, mais revenir vers lui pour répondre au mieux à sa demande.

Nous avons pu arriver à satisfaire **la plupart de nos objectifs techniques**. Le rendu final pourra toujours être amélioré, répondre à toujours plus de raffinements en termes d'attentes. Néanmoins, nous tirons de ce projet l'importance de la communication dans une équipe internationale, la rigueur de respect du planning et la diffusion de nos connaissances.

Bibliographie

Introduction : emploi.sncf.com

Partie technique:

Ryzerobotics. (2018, Novembre). *Mission Pad User Guide*. Retrieved Octobre 10, 2020, from Ryze:

<https://dl-cdn.ryzerobotics.com/downloads/Tello/Tello%20Mission%20Pad%20User%20Guide.pdf>

Ryzerobotics. (2018, novembre). *SDK 2.0 User Guide*. Retrieved Octobre 10, 2020, from Ryze:
<https://dl-cdn.ryzerobotics.com/downloads/Tello/Tello%20SDK%202.0%20User%20Guide.pdf>

SSD: Single Shot MultiBox Detector Wei Liu, Dragomir Anguelov, Dumitru Erhan, Christian Szegedy, Scott Reed, Cheng-Yang Fu, Alexander C. Berg ECCV 2016

<https://github.com/amdegroot/ssd.pytorch>

https://medium.com/@sanghuynh_73086/how-to-install-labelimg-in-windows-with-anaconda-c659b27f0f

<https://www.kaggle.com/marcopado/drone-sta>

Partie Sociologie:

<https://www.vie-publique.fr/sites/default/files/rapport/pdf/164000015.pdf>

<https://www.lefigaro.fr/societes/2013/10/21/20005-20131021ARTFIG00376-la-sncf-teste-les-drones-pour-surveiller-son-reseau.php>

<https://www.sncf.com/fr/innovations-et-surveillance-du-reseau-ferre>

<https://www.digital.sncf.com/actualites/securite-ferroviaire-augmentee-des-detecteurs-dobstacles-en-experimentation>

<https://www.prevention-ferroviaire.fr/page/les-innovations>

<https://www.usinenouvelle.com/editorial/la-sncf-progresse-dans-la-detection-des-obstacles-du-train-autonome.N891234>

<https://www.prevention-ferroviaire.fr/page/accidentologie-aux-passages-niveau>

<https://www.studiosport.fr/guides/drones/quelles-sont-les-possibilites-de-programmation-de-son-drone.html>

https://oaci.delegfrance.org/Dossier_Les-drones-un-nouveau-defi-pour-l-aviation-civile-francaise-et