

# Guidage sur taxiway

## Sommaire

|                                      |    |
|--------------------------------------|----|
| Par Robot pilote1.....               | 2  |
| Par Application embarquée1.....      | 12 |
| Au Futur : l'avion automatique1..... | 13 |

# Par Robot pilote

## Première partie (écrite en 1988)

Le guidage des avions sur les taxiways représente un souci pour la tour de contrôle doit assurer un suivi spécifique des avions au sol et pour les pilotes qui doivent naviguer, parfois avec une visibilité réduite, sur des itinéraires avec de nombreux points de conflits, jalonnés d'une signalisation complexe.

La présence de brouillard ou d'une forte pluie sur l'aéroport peut donner lieu à des erreurs dramatiques, telle celle d'un avion se présentant sur la piste de décollage au moment d'un atterrissage. Par ailleurs, la mauvaise visibilité ralentit la vitesse de roulage et impose des procédures de sécurité qui ralentissent le trafic et donc la rentabilité des aéroports.

L'automatisation complète des déplacements sur les taxiways est une solution à ces problèmes de sécurité et de trafic ralenti. Actuellement les radars de sol ne peuvent satisfaire que partiellement cette automatisation.

La solution proposée consiste à déplacer les mobiles qui opèrent sur les taxiways sous contrôle d'un robot accompagnateur spécialement affecté à cette tâche de guidage. Ce robot est capable de suivre un chemin précis, soit selon un programme qu'il a préalablement mémorisé, soit en suivant une trace au sol, soit par soumission à des ordres extérieurs, soit par la combinaison de ces trois moyens. Le robot peut connaître par ailleurs la position du mobile par rapport à lui et transmettre mobile ou à son pilote des ordres de marche, par des moyens optiques ou électroniques.

### *Exemple d'utilisation*

Lorsqu'un avion atterrit, le robot est en poste en bord de piste, à hauteur de la fin de la zone habituelle de freinage.

Lorsque le radar arrière du robot détecte l'avion, le robot vérifie l'évolution de la vitesse de l'avion. Si elle est correcte, il démarre pour se placer dans l'axe de la piste, à une vitesse légèrement inférieure à la vitesse de roulement de l'avion.

Si le robot est un téléguide capable d'agir directement sur les commandes de l'avion, le robot se place à la distance nécessaire à cette prise en charge. Si le robot est un guide visuel, il vient se placer à la distance de guidage.

Pendant cette manoeuvre, il émet un message radio d'accueil : «Guideur sol X à mobile Y. Bonjour ! Veuillez me suivre jusqu'au terminal S, en respectant la vitesse prescrite».

Cette vitesse prescrite est affichée par deux caractères lumineux, haut d'un support dont la hauteur peut varier en fonction du type de mobile à guider, afin que cet affichage soit dans le champ visuel direct du pilote du mobile. Celui-ci se borne à suivre le robot, qui se

maintient en permanence à la distance du guidage. Si le mobile va trop vite ou trop lentement, le robot fait clignoter la vitesse de consigne et verbalise par radio. A l'approche de chaque carrefour, le robot demande l'autorisation de traverser, de converger ou de diverger et donne confirmation du passage effectué.

La gestion des divers mouvements des différents robots aéroportuaires est faite par un ordinateur central ou par les robots eux-mêmes qui gèrent leurs proximités. L'approche des carrefours est faite par détection de balise au sol ou par comparaison au programme de marche ou par les deux.

La piste de guidage peut être à base de ferrite, qui présente l'avantage d'être passive, de ne pas nécessiter de continuité mécanique ou électrique et d'être détectée sélectivement par le dispositif embarqué dans le robot.

Le robot peut être optimisé pour présenter une faible résistance mécanique en cas de collision avec le mobile qu'il doit prendre en charge. Le cas échéant, il peut abriter deux hommes pour une approche discrète des appareils détournés par des éléments hostiles.

L'équipement du robot peut comprendre, de façon non exhaustive :

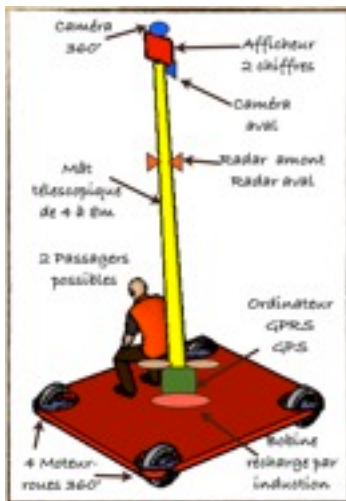
- un radar d'approche arrière, de portée comprise entre 10 et 1000m
- un télémètre arrière pour des mesures comprises entre 20cm et 10m
- une liaison radio numérique avec la tour de contrôle
- un synthétiseur vocal et une liaison radiophonique avec le pilote du mobile, de 10m de portée typique
- un ordinateur de marche possédant la mémoire de l'aéroport
- un détecteur de piste de guidage et l'asservissement de marche correspondant
- un détecteur de balise de position
- un afficheur numérique
- un support pour le réglage de l'afficheur en hauteur
- un moteur et un système de roulage ayant une autonomie de roulage d'au moins 50km à 80km/h

## Deuxième partie (ajoutée en 2015)

*25 ans plus tard, le besoin de gestion des taxiways est le même, mais les technologies ont évolué.*

Le robot de guidage reste nécessaire pour assurer l'interface compatible avec tous les types de mobiles : avions gros porteurs, avions d'affaires, avions de tourisme, avions pompiers, avions de fret, avions militaires, hélicoptères lourds, hélicoptères pompiers, hélicoptères légers, camions de pompiers, camions de ravitaillement, chariots de frets, bus de transports de passagers, bus des personnels, tracteurs d'avions, tracteurs d'entretien des abords, chasse-neiges, dégivreurs, dépanneuses, camionnettes de livraison, véhicules de liaison,...

Pour des raisons de sécurité (cheminement obligatoire, brouillard, croisements de trajectoire,...), pour préciser les points d'arrêt intermédiaire ou finaux, pour gérer l'ensemble des déplacements, tout mobile présent sur le taxiway devrait être accompagné de son poisson pilote.



## *Guidage GPS*

Le guidage GPS est aujourd'hui acceptable en terme de fiabilité et de précision. Tous les aéroports devraient être équipés de plusieurs balises GPS différentielle pour un positionnement à 20cm près.

A l'instar des villes, tous les aéroports devraient avoir une cartographie complète compatible avec les systèmes de navigation GPS.

Le guidage sur guide filaire encastré dans les pistes n'est plus nécessaire. Le robot d'aujourd'hui sait parfaitement suivre un plan de déplacement et indiquer en permanence sa position à la tour de contrôle.

## *Transmissions*

La transmission type WiFi (courte portée sécurisée et cryptée, avec antennes relais) entre la tour de contrôle et le robot permet à la tour de contrôle de commander un trajet et de déclencher les autorisations de démarrage (croisement) ou les arrêts.

Le robot émet en permanence sa position et les images vidéo de ses caméras.

Pour des raisons de sécurité, il semble préférable que le robot ne communique pas directement avec le mobile.

## *Caméra panoramique*

Une caméra 360° placée au dessus de l'afficheur permet à la tour de contrôle d'avoir une vision complète de la l'environnement sans avoir à recourir des mécanismes de rotation de tourelle aux multiples inconvénients.

Pour assurer 360°, il est possible d'accoupler 6 caméras ayant chacune un champ de 60°, mais il sera plus facile et plus robuste d'utiliser une seule caméra visant un miroir de révolution proposant une image circulaire anamorphosée, redressée par informatique (voir en annexe l'exemple Gopano - étonnant ce que l'on sait faire avec un iphone !)

On peut noter la qualité/fiabilité obtenue avec les composants grand public. Un objectif de 5mm de diamètre (5 millions de pixels) et un miroir de 5cm de diamètre suffisent. Ces composants de faible encombrement sont plus faciles à protéger des intempéries (pluie, neige, buée, givre, vent, salissures, vibrations,...) que les caméras industrielles.

## *Caméra de suivi du mobile*

La caméra placée sur la base permet de lire l'immatriculation du mobile et de vérifier en permanence sa qualité de roulage ou la présence de personnel ou d'objet dans le champ immédiat de roulage.

## *Afficheur*

Le cockpit des avions gros porteurs est tel qu'il faut que l'afficheur soit à 7 ou 8m de hauteur, obligeant à une structure mobile résistant à des vents de 190km/h. Un mât télescopique en treillis solidaire d'une base large et pesante pour éviter le renversement supporte l'afficheur monté sur une articulation élastique pour atténuer l'effet des rafales.

L'afficheur doit être lisible à 50m, soit des caractères LED d'environ 25cm de hauteur. Le panneau mesure environ 30x60cm. pour un poids d'environ 6kg.

## *Radar / Lidar*

Le Lidar détecte tous les mouvements et identifie les déplacements de tous les objets de son environnement, en redondance avec les connaissances de la tour de contrôle.

Le radar sert à détecter les atterrissages et prévoir l'endroit où va débiter la phase de roulage, là où le robot devra se positionner pour la prise en charge du mobile au sol. Le robot calcule en permanence la distance qui le sépare du mobile ainsi que la décélération relative, permettant de prédire la position du point où le robot et le mobile seront à la distance de prise en charge.

En cas de sortie du domaine cinématique de l'atterrissage, le robot applique une procédure d'échappement.

## *Manoeuvrabilité*

Le robot peut avancer dans tous les sens, pivoter lui-même,... pour une meilleure qualité et fluidité de ses missions qui peuvent être très diverses.

- La vitesse maximale est de 50 km/h
- La vitesse diminue dans les virages en proportion du rayon de giration.
- L'embase est sur 4 roues indépendantes orientables sur 360° par l'ordinateur de bord, qui, dans les virages, tient compte du jerk (dérivée de l'accélération latérale) et des différentiels de rotation. Le moteur assure une accélération et un freinage calibré par l'itinéraire, y compris à l'approche d'un virage.
- Chaque roue a son propre moteur-roue électrique, son propre amortisseur, son propre axe de direction vertical (il n'y a pas d'essieu entre roues) et sa batterie. (simplicité de construction, facilité d'échange,...)
- Les roues sont aux quatre coins du robot, protégées par un capot contenant les batteries, le support du moyeu avec son amortisseur et moteur de direction. L'ensemble est facilement dissociable du robot (maintenance).
- Les pneus sont adaptés à la neige.
- Les roues ont un diamètre compatible avec le franchissement à faible vitesse d'obstacles de 10cm de hauteur.
- Le robot dispose d'un freinage d'urgence manuel ou sur télécommande.

## Habitabilité

Quelques missions spéciales (maintenance, intervention urgente,...) peuvent nécessiter la présence de personnel accompagnateur.

- Le robot supporte le poids de 2 hommes.
- Les sièges sont des disques ronds capitonnés sans dossier fixés de part et d'autre sur le mât télescopique (l'accompagnateur peut ainsi facilement pivoter pour voir devant ou derrière).
- Les sièges comportent une ceinture de sécurité
- Le dessous des sièges est un coffre facilement dissociable, contenant l'ordinateur de bord.

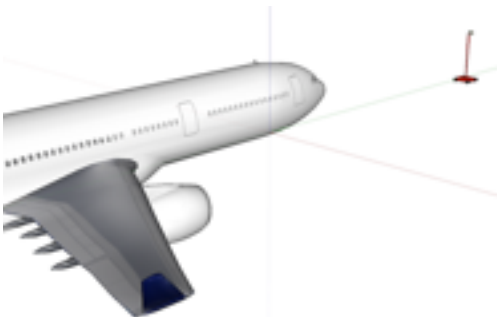
## Recharge par induction

Le robot se recharge à partir d'une bobine primaire de transformateur enchâssée dans le sol, affleurant celui-ci de façon à ne pas prendre de l'espace roulant. L'emplacement est figuré par un cercle rouge.

La bobine secondaire est placée sous le robot. A l'arrêt, cette bobine descend s'appuyer sur le sol. Le robot transforme le 220V en courant continu pour charger les batteries.

Le robot, qui connaît sa position à 20cm près, dispose en face inférieure d'une caméra de positionnement fin qui détecte le cercle rouge et permet le centrage de sa bobine.

Les bobines primaires peuvent être installées poste par poste, là où le robot est habituellement en position d'attente, ou en guirlande au sol d'un espace de garage des robots.



# Logiciel du contrôleur

## *Sécurisation*

La sécurité étant l'objectif n°1 du système, le cryptage des transmissions et les pare-feux sont nécessaires mais non suffisants. Les procédures doivent empêcher toute usurpation d'identité par un robot pirate ou par une pseudo tour de contrôle.

- Chaque émission du robot vers la tour de contrôle est accompagnée d'une photo panoramique temps réel horodatée à plat (incrutation bitmap) avec un compteur de temps indépendant du GPS dont la tour de contrôle connaît l'origine, enrichie visuellement des données lidar, à charge pour la tour de contrôle de vérifier que la position transmise correspond bien à l'image avec un compteur de temps correctement synchrone.
- Chaque émission de la tour de contrôle est accompagnée du comptage de temps que le robot doit comparer à son compteur.
- Reste la faille du piratage du système de comptage synchrone. On peut ajouter un contrôle de version logicielle qui permet de s'assurer en permanence que le logiciel du robot est bien le logiciel original.
- Le logiciel de la tour de contrôle tourne sur 2 machines dédiées hors réseau local ou public et indépendante l'une de l'autre, afin de pallier l'indisponibilité de l'une d'entre elles. Elles s'auto-contrôlent avec 2 caméras pointées sur une horloge murale et sur la tête de l'opérateur-contrôleur des circulations.
- En cas de découverte d'une anomalie, une procédure de débranchement général partiel ou total est mise en œuvre, indiquant à tous les mobiles que le taxiway est sous gestion manuelle en radiophonie.



## Fonctions

### Visualisation

Le ou les écran(s) de contrôle visualise(nt) d'un seul coup d'oeil tous les éléments qui permettent à l'opérateur/contrôleur d'identifier toutes les situations en temps réel et toutes situations prédictives.

- L'ergonome fournit les éléments sémantiques et syntaxiques de l'affichage pour que le travail de l'opérateur soit «d'évidence».
- L'écran de contrôle visualise l'échelle large d'un bout à l'autre des pistes et l'échelle des zones d'échange (un écran pour chaque plan, avec continuité de souris d'un plan à l'autre).
- En tête de piste, coté amont (selon le vent), les listes des prochains atterrissages et décollages avec horodate prédictive d'arrivée et de départ, issues de l'interface avec le contrôle aérien.
- Un avion à l'atterrissage est représenté avec son vecteur vitesse (et son angle de descente). Idem au décollage.
- Les écrans tactiles ne semblent pas appropriés. Par contre, il est envisageable d'utiliser la caméra pour saisir le déplacement du regard du contrôleur et illuminer la zone regardée et les objets actifs.
- L'écran de contrôle (validé par 2 ergonomes) représente la carte de tous les itinéraires possibles sur l'aéroport, avec une couleur par type de cheminement (pompiers, assistances, départ-décollage, atterrissage-arrivée,...).
- Un itinéraire (ou un tronçon) occupé par un mobile change de type de représentation (inversion coeur et bord des traits par exemple).
- Les robots sont représentés à leur position, actifs ou inactifs, à un des stands de charge ou sur un itinéraire, ou en attente sur mission déclenchée, avec le symbole du type de mobile qui leur est affecté, leur vecteur vitesse et leur niveau de priorité lors du prochain conflit.
- Le clic sur un point du taxiway renvoie la vidéo-vignette de ce point prise par le robot le plus proche.
- Le clic sur la vidéo-vignette affiche la vidéo en définition maximale, intégrant les contours des objets issus de l'analyse d'image et les identificateurs des mobiles (immatriculations, cala radio, vitesse, direction, autonomie...).
- Toutes les vidéo-vignettes sont enregistrées en permanence.
- Toutes les vidéos montées à l'écran sont enregistrées.
- Les vidéos des mobiles sélectionnés sont enregistrées continuellement à la demande (indication sur l'icône du mobile) ou suite à une programmation de règles (phase d'atterrissage, ou de conflit, ou d'anomalie d'exploitation, neige, verglas...)

- Les archives vidéo sont effacées après 400 jours, sauf celles liées à une anomalie d'exploitation qui sont stockées sur 2 machines distinctes.

#### *Accueil d'un aéronef*

##### **Prévision à 15 minutes**

Le type d'aéronef détermine les sorties de roulage qui pourront être utilisées.

Le contrôle envoie un robot sur chaque sortie.

##### **Prévision à 3 minutes**

Le contrôle vérifie la compatibilité des robots présents avec les prochains atterrissages signalés.

##### **Prévision à T0**

Le robot le plus proche à la fin de la phase d'atterrissage est désigné comme poisson pilote. Selon sa position, il va à la rencontre de l'aéronef ou le rattrape.

Dès le contact visuel établi, le contrôle définit le plan de marche vers l'arrêt complet en tenant compte des circulations en cours et des conflits prévisibles.

#### *Ouverture d'un mouvement*

Le contrôleur saisit les paramètres définissant le demandeur, l'objet de la mission, la priorité de la mission, le point de départ, le point d'arrivée, le type de mobile,...

Les missions récurrentes ont une indexation.

Le logiciel définit l'itinéraire, communique en synthèse vocale avec demande d'accord. En cas de désaccord, le contrôleur prend la main.

Le logiciel donne le feu vert de la mission et attends confirmation du contact visuel entre le conducteur du mobile et le robot.

#### *Conflits*

Le contrôle applique les règles de priorité habituelles en ajoutant des priorités exceptionnelles définies par les exigences d'exploitation du moment (priorité absolue aux pompiers, aux atterrissages, dimensions des espaces de stockage...). Il transmet sa décision au robot.

Le contrôle vérifie que le robot applique la décision.

#### *Cloture d'un mouvement*

Le robot est désactivé, prêt pour nouvelle mission. Le mouvement est archivé

### *Rejeu*

Le système permet de rejouer un épisode entre 2 horodates sur une machine en laissant en exploitation l'autre. Ce rejeu montre aussi les vidéos demandées.

### *Simulateur*

Le système dispose d'une entrée permettant d'exploiter un ensemble de missions virtuelles préprogrammées, à des fins de test de nouvelles versions logicielles ou de mise en oeuvre de nouvelles procédures.

La simulation se fait en maintenant l'exploitation opérationnelle sur l'autre machine.

### *Prédicteur*

Les atterrissages peuvent se succéder chaque minute. Le contrôleur anticipe les arrivées et positionne les robots en attente, afin de minimiser le temps de contact visuel entre pilote et robot enfin de phase d'atterrissage. (à 50 km/h, il faut 7 secondes pour faire room)

## Annexe

[http://www.macway.com/fr/product/26707/gopano-micro-objectif-panoramique-360-pour-iphone-4-4s-5.html?p=31&utm\\_source=31&utm\\_term=26707&utm\\_medium=COMP&utm\\_campaign=SHPING](http://www.macway.com/fr/product/26707/gopano-micro-objectif-panoramique-360-pour-iphone-4-4s-5.html?p=31&utm_source=31&utm_term=26707&utm_medium=COMP&utm_campaign=SHPING)

GoPano micro - Objectif Panoramique 360° pour iPhone 4 / 4S / 5

★★★★★ 3 avis



# Par Application embarquée

Plus simple de mise en oeuvre qu'un système de robots pilotes, le système embarqué suppose que le pilote de l'avion ou de tout autre mobile présent sur la plate-forme aéroportuaire sécurisée dispose d'un ordiphone (smartphone) ou d'une paire de lunettes Google, ou d'un affichage tête haute, appelés «Outils de Réalité Augmentée», avec une application téléchargeable depuis des serveurs sécurisés.

L'aéroport dispose d'une numérisation 3D des pistes, des voies de circulation, des points de parking, des immeubles et des itinéraires pour tous les types de mobiles.

L'aéroport dispose de 4 balises GPS au sol pour une précision de quelques centimètres.

L'ORA propose la vision de l'aéroport depuis sa position GPS et selon son orientation GPS, à l'instar d'applications existantes (par exemple Starguide pour le ciel, Google maps navigation pour le sol), en ajoutant :

- les astres principaux du soleil, de la lune, Jupiter, Vénus, Mars
- les étoiles de magnitude <1,
- les constellations principales facilement identifiables,
- le vecteur vent,
- la température
- l'humidité.
- les mobiles présents, avec leur vecteur vitesse et leur niveau de priorité.
- les mobiles à l'approche avec leur délai avant atterrissage

La vision est par défaut selon un champ visuel de  $2 \times 45^\circ$ , extensible avec un seul doigt jusqu'à  $2 \times 10^\circ$  en zoom et  $2 \times 90^\circ$  en grand angle, avec une vue générale de l'aéroport en plongée  $60^\circ$  avec tous les mobiles autorisés (y compris parkés).

Tous les mobiles en déplacement sont figurés avec leur icône de type et leur vecteur vitesse. (distinction possible entre avion au départ et à l'arrivée ou en changement de parking, aviation légère, petits et gros porteurs de passagers ou de fret, aviation militaire ou de sécurité civile, véhicule de secours, de maintenance, de livraison, de liaison, camion citerne,...)

L'itinéraire à suivre, défini par la tour de contrôle est superposé à la voie de circulation. La vitesse max apparaît en haut de l'écran, à côté de la vitesse courante de 0 à 50 km/h, en km/h (nous sommes au sol !)

La sécurité contre les piratages d'identité est traitée par un canal radio analogique. A chaque demande de la tour de contrôle, le pilote énonce le code affiché sur l'application.

Toutes les  $n$  secondes (variable selon la phase de circulation), l'application envoie à la Tour de Contrôle la photo de la vue courante prise par l'ordiphone placé sur son support.

Au niveau de la Tour de contrôle, le logiciel central reprend les fonctions décrites pour le système avec robots pilotes, à l'exception des vidéos, qui sont remplacées par des simulations de l'écran à disposition du pilote du mobile et par les photos reçues. Ces éléments sont mémorisés et permettent le réjeu.

Dans un premier temps, l'application est en appui des procédures actuelles de roulage. La généralisation de cette application peut conduire à une homologation des instances de normalisation aérienne.

Ce système préfigure l'[avion entièrement automatique](#) pour lequel il faudra mettre au point toutes les fonctions liées aux circulations de départ et d'arrivée en sécurité vis à vis des autres mobiles de l'aéroport...