

Déviation des aéronefs à l'atterrissage

Techniques de mesure et tendances observées

Note d'information technique



Ressources, territoires, habitats et logement
Énergies et climat
Prévention des risques
Développement durable
Infrastructures, transports et mer

Présent
pour
l'avenir



Avec la participation de
l'IGN



Novembre 2011

service technique de l'Aviation civile

Le contexte

Afin de valider les méthodes de dimensionnement des largeurs de piste, compte tenu de l'évolution des aéronefs, le STAC a élaboré, en partenariat avec l'Institut géographique national (IGN), une méthode de mesure de la position des avions durant le toucher des roues par rapport à l'axe de la piste.

L'IGN a ainsi proposé un système de mesure reposant sur un dispositif de prise de vue stéréoscopique et une mesure photogrammétrique de la position des avions lors de la phase d'atterrissage.

Cette méthode a été mise en œuvre à l'aéroport Paris Charles de Gaulle du 13 novembre 2008 au 22 décembre 2008.

Quelques définitions

Photogrammétrie

La photogrammétrie utilise le principe de la vision en relief.

Cette technique permet de mesurer des objets à distance avec des images métriques (des photos, le plus souvent) à l'aide d'appareils de restitution.

Stéréoscopie

Procédé qui permet d'obtenir la sensation du relief à partir de deux images stéréoscopiques d'un objet, prises de deux points de vue différents.

(source seig.ensg.ign.fr)

Le principe de fonctionnement

Quatre caméras sont positionnées selon un rectangle de 450 m de long et 250 m de large de part et d'autre de la piste. Lorsqu'un avion approche, ces quatre caméras se déclenchent et enregistrent de manière simultanée une succession de photos de l'avion durant 5 à 6 secondes à raison de 5 photos par seconde.

Ces photos sont ensuite traitées par les équipes de l'IGN qui reconstituent la trajectoire de l'avion quelques secondes avant et après le toucher des roues.

Intérêts de la méthode

- ✓ Passive : aucune interaction avec les aéronefs.
- ✓ Au sol : aucune homologation nécessaire contrairement aux systèmes embarqués.
- ✓ Légère : déploiement rapide.
- ✓ Précise : positionnement des aéronefs avec une précision de l'ordre de 20 cm.
- ✓ Indépendante des conditions météorologiques : le système a fonctionné par tous les temps : soleil, pluie, tempête, neige, brouillard...

Limites de la méthode

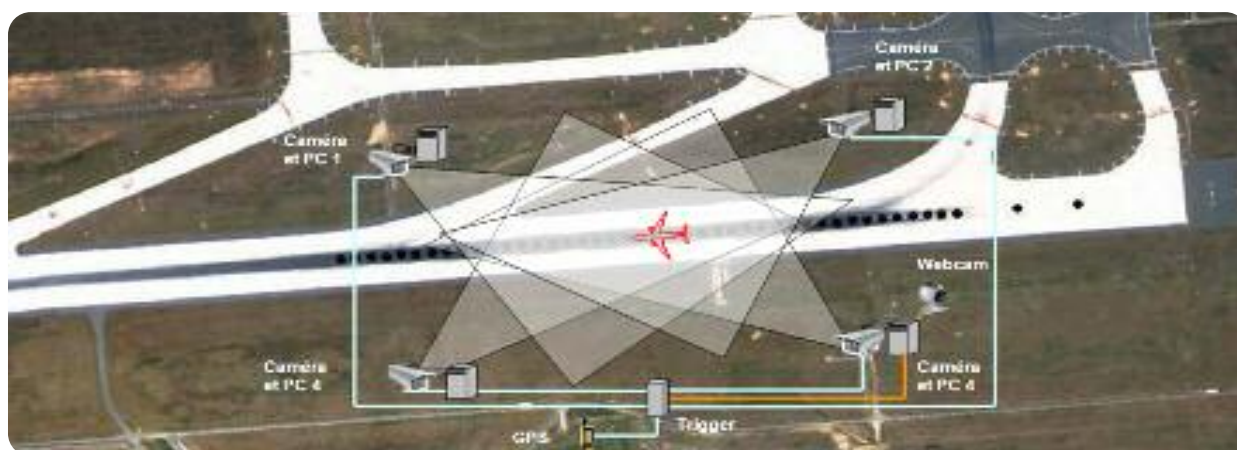
- ✓ Méthode liée à un site : l'obtention d'informations sur d'autres aérodromes nécessite l'installation du même dispositif.
- ✓ Traitement partiellement manuel : l'exploitation des données collectées par le dispositif a été réalisée principalement de manière manuelle. Par suite, l'IGN a mis au point un logiciel plus automatisé améliorant le rendement en divisant par 10 le nombre d'interventions manuelles.

Photo de couverture © Photothèque STAC/Alexandre PARINGAUX

Le dispositif en détail

Le plan de l'installation

Le dispositif a été installé du côté est de la piste 26L du doublet sud de l'aéroport Paris Charles de Gaulle de telle sorte que les 4 caméras forment un rectangle de 450 m de long et 250 m de large de part et d'autre de la piste. Les caméras 1 et 2 ont été positionnées au sud de la piste à 150 m de l'axe de piste, les caméras 3 et 4 se situant à l'opposé, à 100 m de l'axe.



Les caméras

Les caméras, au nombre de quatre, permettent d'estimer la précision des résultats grâce à leur redondance. Elles constituent les éléments principaux du dispositif. Leur disposition en tête-bêche permet de couvrir la zone de prise de vue en multi-stéréoscopie de l'avant et de l'arrière de l'avion, ce qui améliore la résolution spatiale des points 3D mesurés par photogrammétrie.

Afin d'assurer leur stabilité, elles sont installées sur des dalles en béton, confectionnées par Aéroports de Paris. En raison de la proximité de la piste, des **supports de balisage**, fragibles, sont utilisés pour maintenir **les mâts**. Leur hauteur, allant de 50 cm à 270 cm, permet à l'axe de la piste d'être visible par les caméras. Pour renforcer la stabilité des caméras, certains mâts sont haubanés. Enfin, des **picots** sont accrochés sur les caméras pour limiter la curiosité des oiseaux.



Le dispositif de déclenchement



© Photothèque STAC/Pierre THERY

Placée en début de piste aux côtés de la caméra 1, **une webcam** déclenche le début de l'acquisition des images dès qu'un avion est détecté. Un boîtier trigger assure la synchronisation avec une précision de 20µs des quatre caméras en générant un signal qui déclenche la prise de vue.

Cette méthode de synchronisation impose que toutes les caméras soient reliées par un câble physique au **boîtier trigger**. Compte tenu de l'éloignement des caméras, il est nécessaire d'avoir recours à un **câble correctement blindé** pour limiter l'effet des perturbations électromagnétiques.

Pour le futur, une solution « sans fil » où la synchronisation serait menée par des horloges GPS commandant les prises de vue pour chacune des 4 caméras pourrait être envisagée. La détection par un poste maître serait maintenue et celui-ci lancerait l'ordre de prise de vue.

Le dispositif d'enregistrement des données

Un **GPS** permet de connaître précisément l'heure de la prise de vue et de dater ainsi les données collectées.

Chaque caméra est reliée à un **ordinateur portable** à faible consommation, durci, étanche et capable de fonctionner quelles que soient les conditions de température. Ces ordinateurs se comportent comme des enregistreurs : ils se chargent de sauvegarder sur des **disques durs externes** de grande capacité les images acquises. Un des ordinateurs, dit « maître », est également connecté à la webcam et commande ainsi les trois autres ordinateurs, dits « esclaves ». Lorsqu'un avion est détecté par la webcam, il donne l'ordre au trigger de lancer les prises de vue.

L'ensemble de ce dispositif d'enregistrement est placé dans des boîtiers garantissant à la fois l'étanchéité et l'aération pour éviter la surchauffe des différents composants.



© Photothèque STAC/Marie-Ange FROISSART

La calibration et la mise en place photogrammétrique

Les coordonnées des caméras sont déterminées à l'aide d'antennes GPS fixées à leur sommet. Leur orientation est validée grâce à une sphère lumineuse montée sur une canne, également repérée à l'aide d'une antenne GPS. On connaît ainsi la position de la sphère lorsqu'elle est prise en photo par les quatre caméras. Au total, 22 points sols ont été mesurés et chacun d'eux a été doublé par un point de contrôle à 5 m du premier. 6 points hauts à 30 m du sol ont également été effectués à l'aide d'un camion-nacelle, doublés par 6 points à 15 m du sol.

Ces éléments permettent d'estimer les paramètres des lois de correspondance entre les mesures sur les images et les coordonnées terrain qui pourront s'appliquer à tout point visible par au moins deux caméras. Ils permettent ainsi la mise en place photogrammétrique du système d'acquisition.

La qualité de la mise en place photogrammétrique est évaluée grâce aux points de contrôle. Ils n'interviennent pas dans le calcul des paramètres des lois de correspondance et on compare les coordonnées issues de ces lois avec celles mesurées sur le terrain.



© Photothèque STAC/Richard METZGER

La maintenance

La seule maintenance nécessitée par le système durant la période de mesure est le remplacement des batteries et des disques durs enregistrant les photos.

Les disques durs installés sur chacun des 4 ordinateurs et leurs données doivent être récupérés tous les deux ou trois jours. De nouveaux disques durs sont alors mis en place.

Il en est de même pour les batteries : elles sont récupérées en même temps que les disques durs alors que de nouvelles batteries chargées les remplacent. Une alimentation externe peut également être envisagée si une connexion au réseau électrique de l'aéroport est possible.



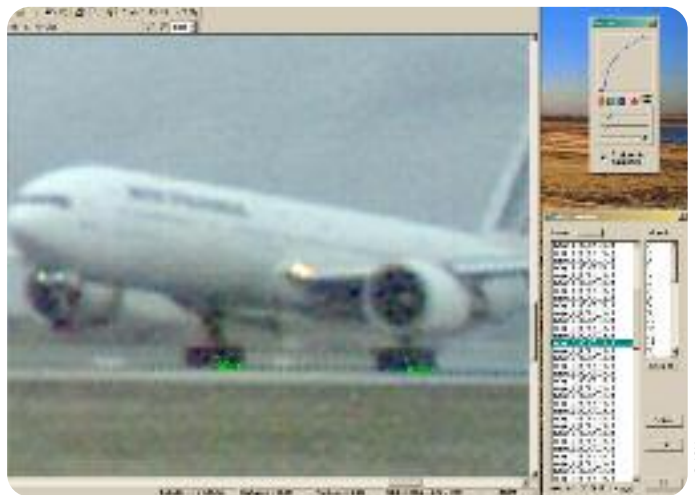
© Photothèque STAC/Marie-Ange FROISSART

L'exploitation des images

Dans un premier temps, un traitement automatique des images brutes récupérées permet d'améliorer leur contraste et de reconstruire les informations manquantes (dématricage) due à la nature des capteurs actuels. En effet, chaque pixel n'enregistre les informations que pour une unique couleur, vert, rouge ou bleu. Les 120 clichés correspondant à un même atterrissage sont ensuite assemblés et soumis à un traitement semi-automatisé permettant de déterminer l'ensemble de la trajectoire de l'avion. En effet, la position des roues en trois points de la trajectoire doit être déterminée manuellement de manière grossière : au début de la prise de vue, lors du toucher des roues, et à la fin de la prise de vue.

Le dernier logiciel développé par l'IGN permet ensuite de détecter automatiquement les roues des autres images et d'affiner leurs positions, donnant ainsi les coordonnées des roues.

On obtient ainsi la trajectoire de l'avion pour une durée de 5 à 6 secondes à raison de 5 positions par seconde avec une précision de l'ordre de 20 cm.



L'exploitation des données par le STAC

Ce dispositif a permis d'enregistrer 1600 atterrissages de diverses familles d'aéronefs (A320, A330, A340, B777 et B747). Parmi ces 1600 séquences, 425 ont été sélectionnées, traitées et utilisées pour la corroboration des données d'une autre base de données plus importante, issue elle des enregistreurs de bord. La précision élevée (20 cm) de la méthode de mesure par photogrammétrie a ainsi permis de déterminer les erreurs de mesure issues des enregistreurs de bord.

De l'analyse des données, il ressort les conclusions suivantes :

- ✓ Le facteur humain influence la précision des atterrissages : les pilotes de la famille A320 pouvant piloter indifféremment les divers sous-types A318, A319, A320 et A321, ils peuvent être moins habitués à l'A318, beaucoup plus léger que ses confrères, ce qui entraîne des déviations plus importantes.
- ✓ Le vent traversier : les déviations sont plus importantes lorsque le vent de travers est fort.
- ✓ La largeur de piste : les déviations sont plus importantes sur les pistes de 60 m que sur les pistes de 45 m.
- ✓ L'amplitude angulaire du vent : des amplitudes angulaires élevées entraînent des déviations plus importantes.

Concernant les probabilités de sortie de piste, il a été difficile d'obtenir des résultats chiffrés précis car la méthode statistique utilisée s'est révélée instable. On peut néanmoins conclure que les pistes actuelles sont plutôt dimensionnées correctement pour une probabilité de sortie de piste par atterrissage de 10^{-7} .

Conclusion

Le système développé par l'IGN et le STAC a ainsi permis de déterminer avec succès la position des avions lors du toucher des roues. Les avantages de ce système (système passif, au sol, légèreté et précision) lui ont permis de s'affranchir avec facilité des contraintes aéroportuaires.

Il a également permis de conforter les conclusions du STAC sur le système actuel de codification des aéronefs et sur son implication sur le dimensionnement des pistes. En effet, concernant la largeur des pistes, le système de codage de l'OACI dépend de la largeur du train principal mais également de l'envergure des aéronefs. Or, dans l'échantillon étudié, l'A318 semble plus dévier de l'axe de la piste que le B777, ce qui contesterait la prise en compte de l'envergure des appareils dans la détermination d'une largeur de piste. Une réflexion plus large sur un plus grand panel d'aéronefs et d'aéroports est bien entendu nécessaire afin de proposer des modifications de la réglementation actuelle.

Grâce à l'expérience acquise durant la campagne de mesure de 2008 à l'aéroport Paris Charles de Gaulle, des évolutions de ce système de mesure sont d'ores et déjà imaginées dans l'éventualité de nouveaux déploiements.



© Photothèque STAC/Marie-Ange FROISSART



© Photothèque STAC/Richard METZGER

Ressources, territoires, habitats et logement
Énergies et climat Développement durable
Prévention des risques Infrastructures, transports et mer

**Présent
pour
l'avenir**

service technique de l'Aviation civile
31, avenue du Maréchal Leclerc
94381 BONNEUIL-SUR-MARNE CEDEX
Tél. 33 (0) 1 49 56 80 00
Fax 33 (0) 1 49 56 82 19

Site de Toulouse
9, avenue du Docteur Maurice Grynfolgel - BP 53735
31037 TOULOUSE CEDEX
Tél. 33 (0) 1 49 56 83 00
Fax 33 (0) 1 49 56 83 02

Centre de test de Biscarrosse
Centre d'essais de lancement de missiles - BP 38
40602 BISCARROSSE CEDEX
Tél. 33 (0) 5 58 83 01 73
Fax 33 (0) 5 58 78 02 02