

# Le cas de l'aéroport Aguadilla (25/04/2013)

## 1. Présentation

Le rapport « 2013 Aguadilla Puerto Rico UAP » a été soumis à la commission 3AF/SIGMA2 en mai 2015, accompagné des données radar et vidéo, par le groupe scientifique Scientific Coalition For UAP Studies (SCU). Il peut être consulté via le lien suivant : [https://24d63f27-e686-40c4-adce-0870e805ceec.filesusr.com/ugd/299316\\_9a12b53f67554a008c32d448eff9be5cd.pdf](https://24d63f27-e686-40c4-adce-0870e805ceec.filesusr.com/ugd/299316_9a12b53f67554a008c32d448eff9be5cd.pdf)

Ce rapport rend compte de l'étude approfondie d'un cas de PAN observé sur le site de l'aéroport Rafael Hernandez à Aguadilla, Porto Rico, le 25 avril 2013 à 21h20 (heure locale) à partir de témoignages, d'un enregistrement vidéo et de données radar.

Après réception de ces données, la commission 3AF/Sigma2 a constitué une équipe d'experts pour conduire une analyse des témoignages produits, des données vidéo IR, des données radar et du rapport du SCU qui contient les informations d'environnement relatives à l'évènement. Le résultat de notre analyse, conduite à la demande et avec l'accord du SCU pour l'utilisation des données et les reproductions d'images, est présenté dans le présent document. Les principales conclusions sont les suivantes : il n'a pas été possible de déterminer avec certitude de quel type d'objet ou phénomène connu il peut s'agir – il n'y a pas d'explication convaincante pour les bizarreries observées sur l'enregistrement vidéo – toutefois, on peut avancer :

- Les observations radar et l'objet filmé sur la vidéo recouvrent des phénomènes distincts sans lien l'un avec l'autre,
- Les échos radar correspondent vraisemblablement à des formations nuageuses à basse altitude,
- L'objet visible sur la vidéo semble émissif avec une structure comprenant un point chaud ; sa dimension principale est inférieure à 1,3 mètre ; sa forme ne peut être déterminée,
- Il n'est pas possible de déterminer avec certitude les causes des effacements de l'image de l'objet, de son apparent impact avec la mer, de son dédoublement,
- Il n'est pas possible de restituer la trajectoire précise de l'objet ; cependant, on peut affirmer qu'il ne peut avoir un profil de vol à paramètres constants (vitesse, cap ou altitude) à l'exception d'un seul : celui de l'objet dérivant avec faible vitesse verticale,

## 2. Les documents et données disponibles

### Les informations rapportées par différents témoins

Les témoignages cités dans le rapport SCU ont été communiqués aux enquêteurs par des personnes en rapport professionnel avec les témoins directs (le pilote du DHC-8 et son équipage, le personnel de la tour, sans qu'on puisse en connaître l'effectif présent le soir de l'évènement), et ce 6 mois plus tard. On note quelques contradictions, notamment dans le timing de la séquence.

### Les données radar :

Elles ont été communiquées au SCU à la suite de la requête FOIA faite auprès de l'US Air Force. Ce sont les fichiers Excel des enregistrements effectués par 4 radars civils de la FAA (aucune donnée de radars militaires n'a été fournie) pendant le créneau horaire 19 heures LT à 22 heures LT le 25 avril.

Les fichiers fournis indiquent les coordonnées des échos radar, leur date ainsi que le radar concerné et la qualité de l'écho (primaire, secondaire, primaire + secondaire) ; l'altitude est précisée en cas de secondaire.

L'enregistrement vidéo provient de la boule optronique WESCAM MX-15D montée sous le nez d'un DHC-8 américain de surveillance et de protection des frontières (CBP : customs and border protection). Le capteur infrarouge du système opère dans la bande Infrarouge moyen MWIR entre 3 et 5 microns.



Figure 1

L'enregistrement permet de visualiser les images infrarouges du PAN et du paysage en arrière-plan et, en incrustation, les paramètres numériques suivants :

- les coordonnées (x, y, z), cap, vitesse et assiette de l'avion, restituées à partir des capteurs et instruments de l'appareil,
- l'orientation de la caméra par rapport au repère avion (relèvement),
- la distance de l'avion à l'objet visé (indiqué sous le terme de target) mesurée au laser,
- les coordonnées (x, y, z) et azimuth du target, calculées à partir des paramètres supra.

### 3. Etude des témoignages

Les éléments objectifs<sup>1</sup> tirés des témoignages rapportés permettent de restituer ainsi la séquence des événements :

- au début de la mission du DHC-8 de la CBP, la tour de contrôle demande au pilote « d'aller dans la zone au nord de l'aérodrome pour voir s'il n'y a pas quelque chose d'inusuel »,
- le pilote annonce qu'il voit, par la fenêtre gauche du poste de pilotage, une lumière rose-rouge se rapprochant, en venant de l'océan, en direction du sud ; il la situe dans le nord-ouest de l'aérodrome ; il estime que la lumière est plus haut que l'avion,
- la tour confirme avoir aussi un contact visuel et précise qu'elle a un contact radar,
- alors qu'il l'estime proche de la côte, le pilote perd le contact visuel sur la lumière rose-rouge,
- peu de temps après, l'équipage met en œuvre le système d'imagerie thermique de bord pour suivre l'objet.

Le témoignage du personnel de la tour de contrôle se borne à très peu de chose :

<sup>1</sup> Particulièrement de nuit, les estimations de distance, vitesse linéaire, altitude de quelque chose qu'on ne sait pas identifier sont sujettes à caution ; en revanche, les grandeurs angulaires (azimut, site, largeur angulaire) sont fiables.

- il demande à l'équipage du DHC-8 « d'aller voir » : il ne donne aucune précision de distance ni d'azimut permettant de situer l'objet du contact radar (« au nord » est la seule indication),
- il confirme à l'équipage du DHC-8 qu'il a contact visuel et mentionne qu'il a le contact radar ; on ne sait rien de ce qu'il fait après : continue-t-il à surveiller la lumière ? – La voit-il disparaître comme le pilote ? – Perçoit-il des changements de position de la lumière, en azimut, en site ? - Quel est le comportement du contact radar ?
- un témoin indirect évoque le danger qu'aurait représenté le contact radar inconnu, qui aurait justifié le report par la tour du décollage du DC10 FEDEX 58 ; rien ne permet de confirmer cette interprétation<sup>2</sup>.

En croisant les témoignages avec les données radar et des données extraites de la vidéo, nous avons reconstitué la chronologie probable des étapes de la séquence des événements. Après son décollage à 9:16, le DHC-8 a effectué une première boucle par la gauche, est repassé à 2 km au sud de la piste, parallèlement à celle-ci ; puis il a effectué une seconde boucle, au cours de laquelle il a enregistré l'image infrarouge de l'objet (9:22) et s'est enfin éloigné vers le sud pour effectuer la mission initialement prévue.

- c'est vraisemblablement au moment du décollage que la tour a demandé au pilote « d'aller voir »,
- c'est vraisemblablement à la fin de la première boucle que le pilote voit la lumière « venant de l'océan », « au nord-ouest de l'aéroport » ; « peu de temps après, l'équipage met en œuvre le système d'imagerie thermique » ; tous ces éléments plaident pour situer le DHC-8 au point A (sur la carte de la figure 2) quand le pilote annonce le visuel sur la lumière, au point B pour le début de la poursuite infrarouge.

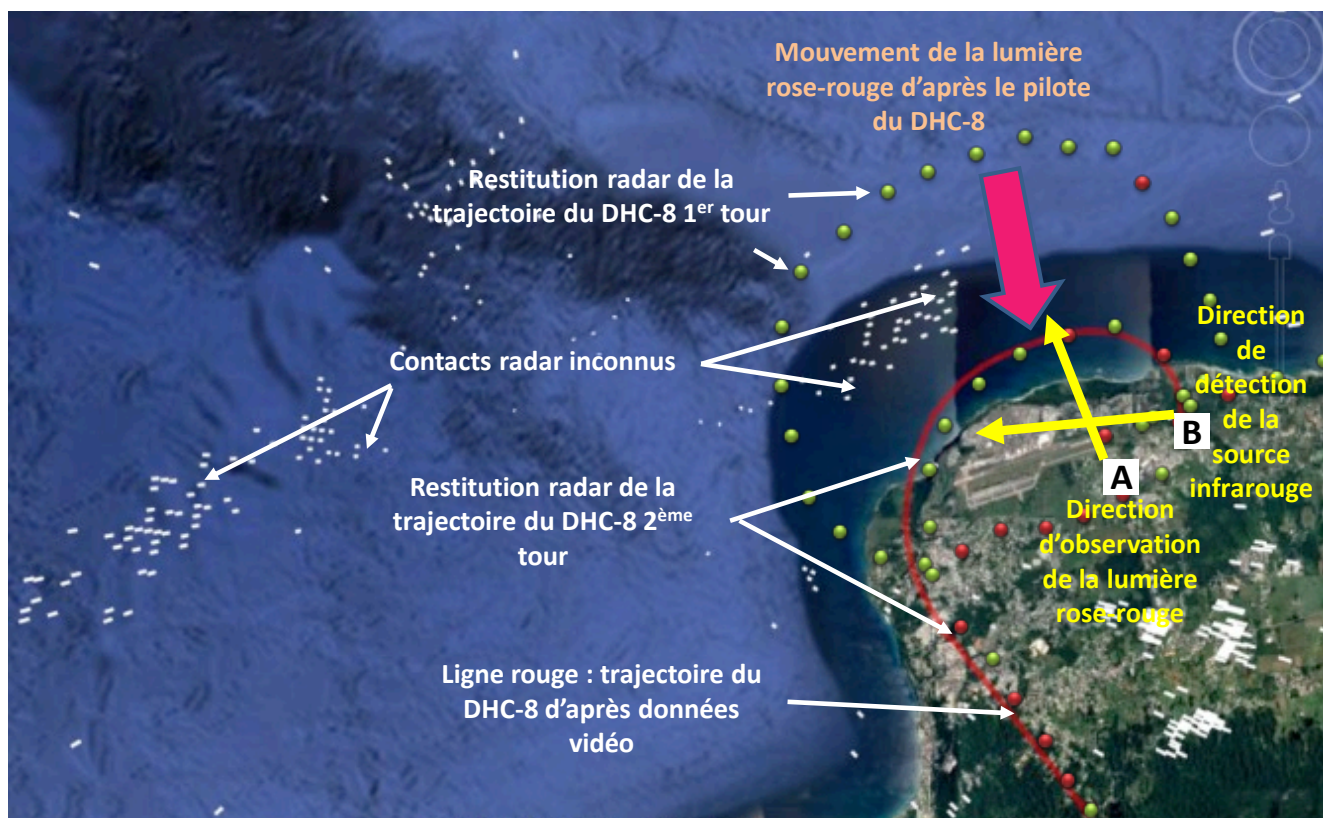


Figure 2

**8 :58** – Apparition des plots primaires vus par le radar JQQ (au début à 4 km au nord du terrain) sur l'écran du contrôle (source : relevés radar)

**9 :00** – Atterrissage du vol Martinair MP 5713 en provenance de Bogota (source : log trafic)

<sup>2</sup> Le report de décollage du DC10 FEDEX 58 est toutefois vraisemblable, car le circuit de piste est occupé par le DHC-8 qui termine son premier tour avant d'apercevoir le PAN puis d'opérer la poursuite infrarouge : la tour ne peut pas l'autoriser à décoller à ce moment.

- 9 :16 – Décollage du DHC-8 de la CBP, qui effectue une première boucle en virage à gauche au nord du terrain (source : relevés radar)
- 9 :19 – Fin de la première boucle ; le DHC-8 passe à environ 2 km au sud du terrain, parallèlement à la piste ; il entame une seconde boucle en virage par la gauche (source : relevés radar)
- 9 :22 – Début de l'enregistrement vidéo
- 9 :25 – Fin de l'enregistrement vidéo
- 9 :26 – Décollage du DC-10 FEDEX 58 (source : log trafic)

Le pilote du DHC-8 perd le visuel sur la lumière (elle se serait éteinte d'après le témoin). Mais il est possible que, le fond visuel n'étant plus l'océan mais la terre (on serait au point B), la lumière se confonde avec d'autres lumières côtières et soit perdue de vue de ce fait.

L'équipage du DHC-8 n'a pas pu ne pas voir sur les écrans du système d'imagerie thermique que l'objet semblait, par 2 fois, traverser la piste : apparemment, il n'en a pas averti la tour.

Enfin, on n'a jamais de façon simultanée :

- observation visuelle et détection infrarouge,
- contact radar et détection infrarouge.

Rien ne permet d'affirmer que la lumière rose-rouge observée et la source infrarouge détectée et filmée sur la vidéo désignent le même objet.

La seule indication possible de position de l'objet est le croisement de la direction dans laquelle le pilote voit et situe la lumière dans le nord (au point A sur la figure 2) et de la direction dans laquelle est détectée la source infrarouge depuis le point B : ce point est très proche de l'aérodrome, au nord de la piste.

#### 4. Etude des données radar.

L'analyse qui suit ne tient évidemment pas compte des détections éventuelles du radar militaire local. Les détections sur la zone d'Aguadilla proviennent quasi exclusivement du radar de Pico del Este à 91,5 miles à l'est de l'aéroport. Le plancher de détection théorique présenté dans le rapport SCU est de 366 ft sur l'aéroport. En pratique, on peut constater que le DHC-8 est détecté en primaire dès qu'il survole la mer ; en revanche, la détection primaire est aléatoire, voire rare, quand il vole au-dessus de la terre (constat fait alors que les altitudes de vol sont supérieures à 2000 ft.

Sur toute la région, on note la présence d'un grand nombre de plots primaires non identifiés.

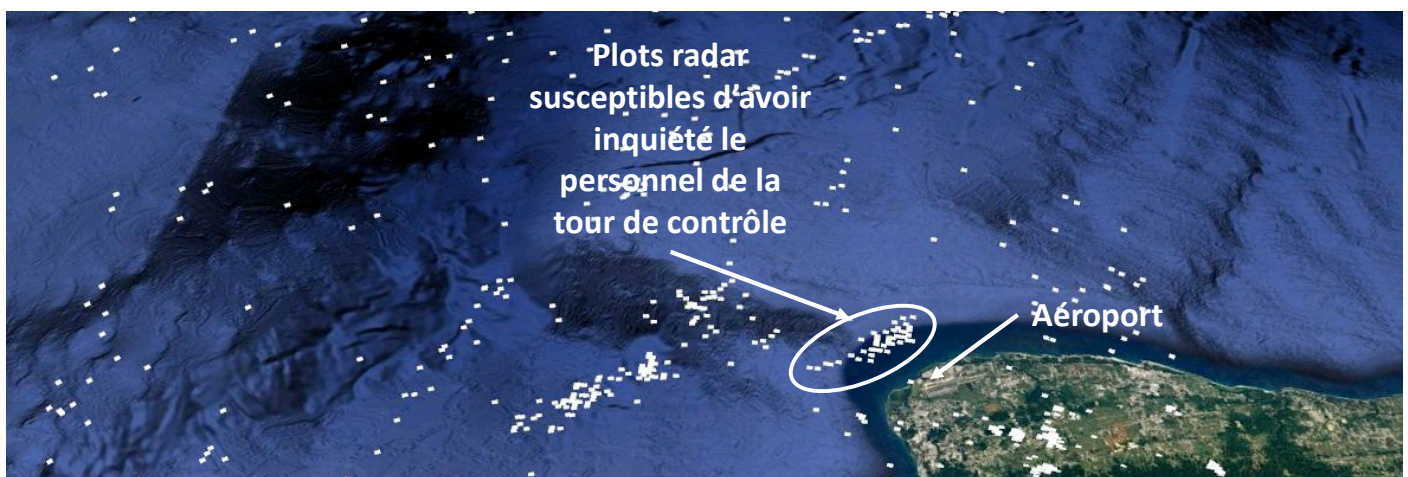


Fig. 3 - Contacts radar primaire de 20:58 à 21:26 LT (les échos radar sont les petits points blancs)

Les plots se déplacent du Nord-Est vers le Sud-Ouest à une vitesse de 30 à 40 kilomètres par heure ; leur altitude estimée est comprise entre 200 et 600 mètres. Les éléments météorologiques (nébulosité en nette augmentation en Avril , 74% du temps, avec une probabilité de précipitation 30% du temps, pluie entre 30 et 70mm, direction de vent principalement Est et Nord-Est) en Avril rendent plausible l'hypothèse de phénomènes orageux se déplaçant, poussés par les vents dominants sur la mer ; ces phénomènes sont susceptibles d'occasionner des échos radar.

On a ignoré les quelques plots isolés qui ne sont observés que sur un tour d'antenne : ils ne peuvent justifier la réaction des contrôleurs.

L'alerte vient vraisemblablement des plots groupés en essaim (cerclés en figure 3) au Nord-Ouest et à l'Ouest de l'aéroport. L'analyse des fichiers révèle que, dans cet essaim et dans celui qui le prolonge à l'ouest, un seul plot apparaît à presque chaque tour de l'antenne radar, toutes les 12 secondes.



Fig. 4 – Positions successives de l'écho qui a alerté les contrôleurs

La trajectoire de ce plot est très erratique autour d'une direction moyenne incontestablement bien définie (ouest/sud-ouest) ; les errements de position peuvent être expliqués par le fait que les échos radar, générés par des formations nuageuses comme il a été dit plus haut, s'attachent aux pics de densité dont la position peut être très variable. Toutefois, il est étonnant de ne voir qu'une seule formation nuageuse par tour d'antenne, cette formation n'étant sans doute pas isolée. L'hypothèse d'un bateau ou d'un drone ne peut être écartée.

Les plots primaires apparaissent au nord de l'aéroport, à environ 4 km, à partir de 20:58. Au moment du décollage du DHC-8 de la Customs and Border Protection (CBP) à 21:16, les plots radar se sont éloignés à l'ouest à plus de 20 km de l'aéroport, davantage encore au moment où commence l'enregistrement vidéo : les positions du plot sont incompatibles des positions target restituées par la vidéo.

On peut raisonnablement en déduire que **le phénomène observé au radar et le phénomène observé sur la vidéo, associés seulement par le fait que l'observation du premier est à l'origine de l'observation du second, sont en fait dissociés et ne peuvent être rattachés à une même réalité physique. Ils doivent être analysés indépendamment l'un de l'autre.**

## 5. Etude des images vidéo - Radiométrie

La chaîne de détection est basée sur un détecteur FPA 640\*512 de technologie IRCMOS en InSb. Refroidi à 77K, ce détecteur a un domaine spectral compris entre 1.5 et 5.5µm. Classiquement, on lui ajoute un filtre froid pour le faire travailler entre 3 et 5µm ( cf. documentation Wescam ) ce qui réduit fortement les effets du rayonnement réfléchit et assure une détection dans le domaine émissif (typiquement au-delà de 2.5µm). Un IrCmos a classiquement une dynamique de sortie comprise en 10 et 12 bits soit plusieurs milliers de niveaux de gris. En sortie de l'IrCmos, le signal est numérisé afin de réaliser les corrections gain et offset nécessaires pour corriger les non-uniformités de réponse de la technologie InSb. On obtient ainsi un BSFR inférieur ou égal au bruit temporel.

A ce stade, il est possible d'avoir un gain (manuel ou pas) qui ajuste le temps d'intégration de l'IRCMOS dans la plage du temps trame pour optimiser le signal. Il est peu probable que les saturations que l'on observe sur la vidéo apparaissent à ce niveau.

Après cette correction, le signal (numérique ou analogique ?) rentre dans l'incrustateur vidéo qui centralise les informations de navigation, de ligne de visée, ... La finalité du signal étant une visualisation sur un moniteur à bord, l'incrustateur n'a pas de raison de travailler sur une résolution supérieure à 8 bits et utilise une CAG qui réduit tout espoir de radiométrie. C'est probablement à ce stade que les saturations apparaissent.

La vidéo en notre possession est une numérisation d'une copie de la vidéo (ou plus certainement d'un enregistrement analogique) de sortie des moniteurs ; de très mauvaise qualité, elle présente au maximum une centaine de niveaux de gris. Cette dernière étape a encore accentué les saturations. En conclusion, la vidéo en notre possession a perdu environ un facteur 10 sur la dynamique et un facteur 2 ou 3 sur la résolution spatiale.

### La vidéo

Nous avons constaté une anomalie dans l'image ci-dessous :



Fig. 5 – Inversion de contraste

L'ombre des arbres semblait plus intense que les arbres eux mêmes. En fait, nous sommes en contraste inversé ; la mare reflète le ciel qui est froid, mais les arbres écrantent le ciel, d'où un fort contraste.

### Impact de la lune

L'albedo de la lune est très faible (environ 7 %), et en infrarouge thermique, son émission est également faible (« équivalente » à un corps noir à 150°K). Comme on peut le voir sur la figure ci-dessous, même la pleine lune, qui pourtant correspond à une nuit de type 1 en vision BNL, a une contribution négligeable au-delà de 2 µm par rapport à un fond à 300K.

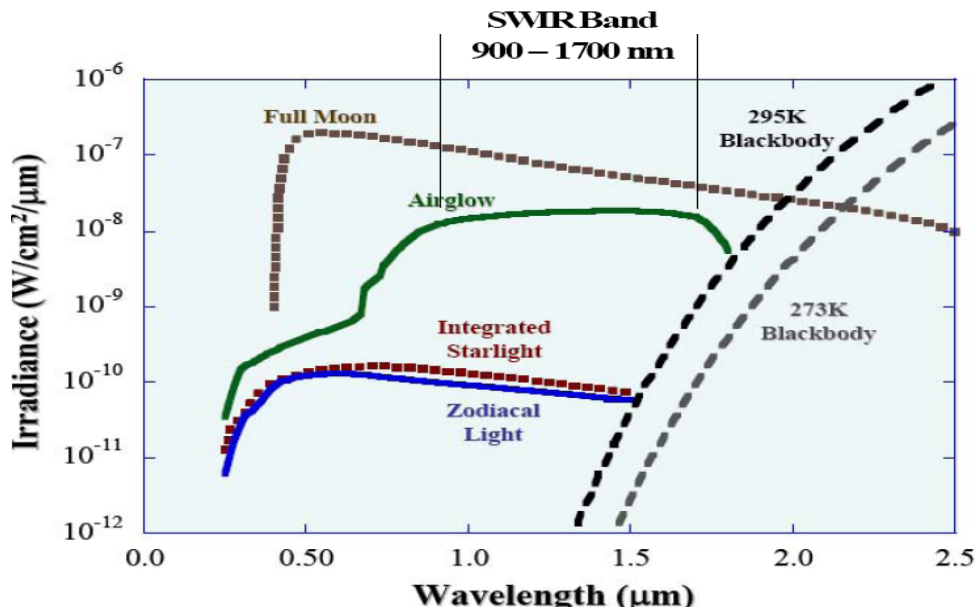


Fig. 6

### Nature de l'objet

Comme on l'a vu précédemment, l'analyse radiométrique est très difficile compte tenu de la mauvaise qualité de la vidéo. Cependant, on peut se poser la question du caractère émissif ou réfléchif de l'objet :

- Si l'objet est supposé réfléchif, sa signature sera fortement dépendante de sa forme, de son environnement et de l'angle d'aspect sous lequel on l'observe. En particulier, la réflexion du ciel se traduirait par une signature très basse. Tout cela devrait conduire à une signature plus faible que l'ambient (quand il réfléchit partiellement le 300K ambient) ou très faible (quand il réfléchit le ciel),
- Si on prend l'hypothèse d'un objet sphérique réfléchissant, sa signature devrait toujours être plus faible que l'ambient. Si maintenant on prend l'hypothèse d'un objet à facettes, on devrait avoir une signature très fluctuante présentant des flashes.

**On en conclut donc que le PAN semble émissif avec une structure comprenant un point chaud. Il est difficile d'aller plus loin dans l'analyse radiométrique de cette vidéo.**

**Concernant la forme du PAN, la saturation ainsi que la très mauvaise résolution spatiale de la vidéo ne permettent pas de donner une quelconque indication.**

### Taille du PAN (voir annexe A)

Elle peut être évaluée à partir des données de champ angulaire disponibles dans la notice technique de la Wescam MX-15Di, qui permettent de connaître l'ouverture du visuel pour un grossissement donné, donc de mesurer la taille angulaire du PAN ; le diamètre maximal du PAN peut alors être calculé en considérant que celui-ci se trouve à la même distance que le target. La présence, sur l'image vidéo, d'éléments dont on connaît les dimensions métriques (avion au sol, largeur de la piste) permet de valider cette approche.

Les valeurs trouvées sont : 1,1 m à 8 km, 1,2 m à 6 km, 1,3 m à 4 km.

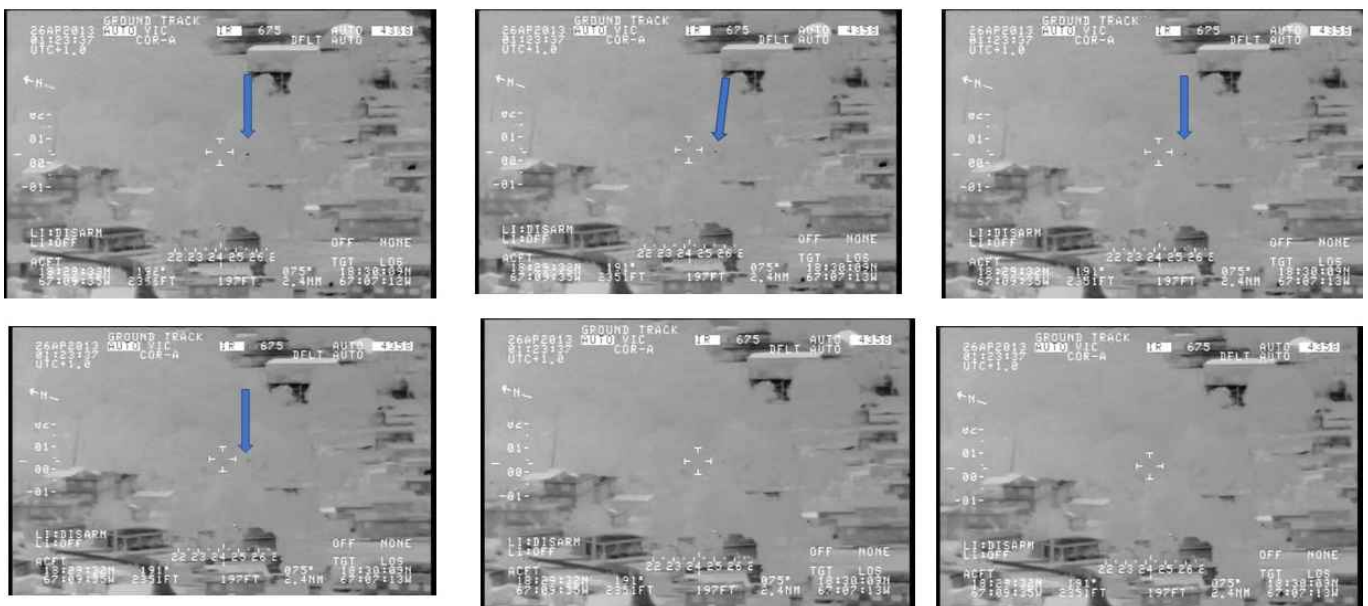
On peut ainsi affirmer que le diamètre maximum de l'objet est de l'ordre de 1,2 m, mais que son diamètre apparent augmente légèrement quand l'objet est plus proche de l'avion, sans doute à cause de l'accroissement de sa luminosité.



**Fig. 7 – Sur l’image de gauche, la distance target est 6300 m, la taille calculée est 1,2 m – Pour 3900 m (image de droite), la taille est 1,3 m, confirmée par comparaison avec la largeur (45 m) de la bande centrale de la piste – la taille maximale est celle d’un objet proche du target c’est à dire proche du sol.**

### Recherche d’hypothèses expliquant les disparitions temporaires du PAN sur les images vidéo

L’occultation du PAN, sur fond de mer, pourrait s’expliquer par la présence de nébulosités au dessus de 600 ft qui masqueraient provisoirement l’objet. Cependant, nous devrions observer également une occultation du paysage de fond de mer autour de l’objet, ce qui n’est pas le cas. Sur fond terrestre, certaines images d’occultation du PAN présentent également des occultations partielles du paysage, évoquant la présence potentielle de nébulosités résiduelles à bassa altitude ; cette hypothèse ne peut être confirmée. L’occultation pourrait également s’expliquer par le passage du PAN derrière les arbres, ce qui nous permettrait de fixer un point de la trajectoire. La séquence ci-dessous illustre cette hypothèse.





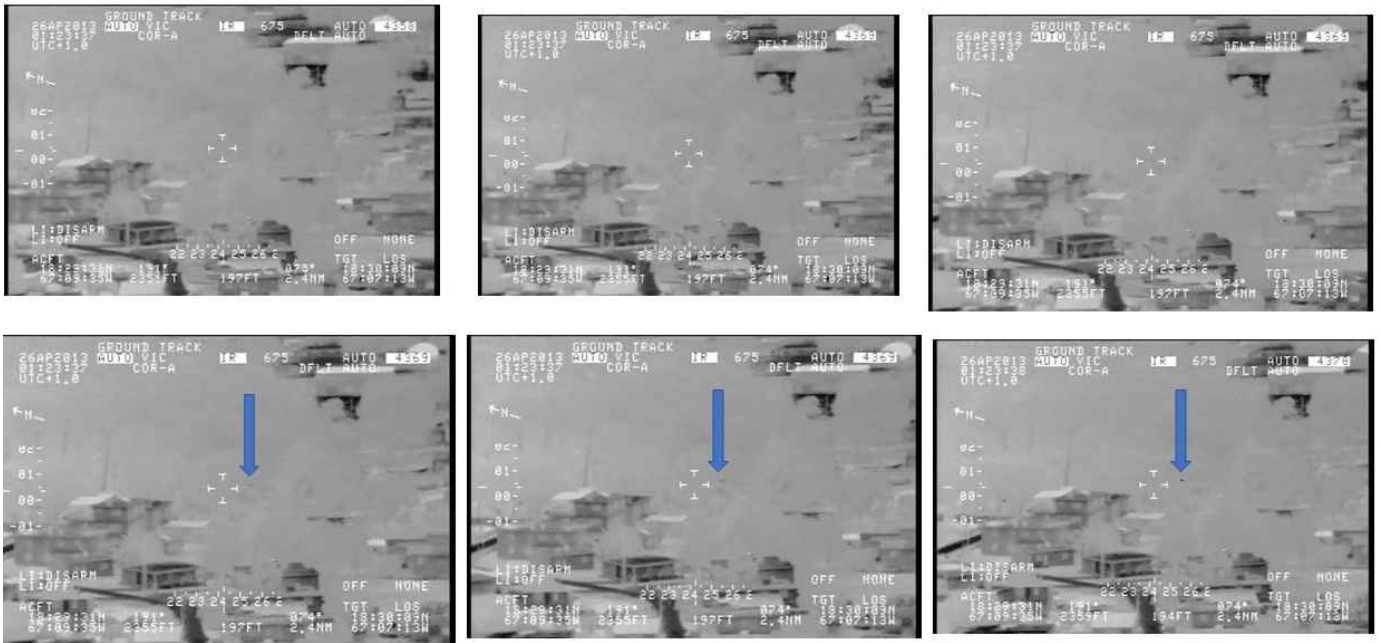


Fig. 8 – Occultation passagère de l'image infrarouge du PAN

### Recherche d'hypothèses pour expliquer l'impact avec la mer

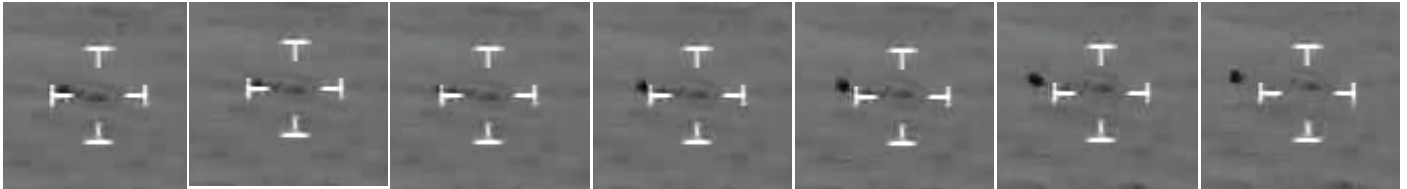
Un phénomène « physique » étrange survient quand le PAN semble impacter l'eau. L'explication qui est donnée dans le rapport SCU fait référence à un phénomène appelé vaguelette de Bernoulli : le principe serait basé sur l'effet de déplacement d'eau par le corps en déplacement sous l'eau, qui crée ainsi une vaguelette qui remonte vers la surface. En remontant, cette vaguelette se dilate et se refroidit ce qui expliquerait, selon le rapport, que la caméra puisse suivre un point « froid » dans l'eau marquant la position de l'objet. **Attention, on est en contraste inversé : un point noir est un point chaud et non plus froid !!** Nous ne connaissons pas cet effet et donc ne pouvons conclure, hormis le fait que l'eau n'est pas transparente au rayonnement infrarouge et donc que la caméra ne peut pas détecter l'objet immergé si tel est le cas.



Fig. 9 – Impact du PAN sur la mer ?

Nous n'avons pas connaissance d'objet volant, même dans le cas d'un UAV de conception avancée, capable de changer de milieu en plongeant dans l'eau à grande vitesse. On n'observe pas, en tout cas, de variation de vitesse qui, pour les objets que nous connaissons, accompagnerait les changements de milieu.

Une autre hypothèse envisageable est le vol sea-skimming avec effet de surface projetant une « brume opacifiante ». Le masquage du PAN s'effectue lorsque celui-ci est très proche de l'eau effectuant une sorte de ricochet ; le point chaud qui apparaît ne serait que l'empreinte thermique fugitive du PAN sur l'eau.



**Fig. 10 - Images successives à t=24mn41 ; ces images peuvent être interprétées comme un ricochet du PAN sur l'eau ou comme des flashes infrarouges**

**Dédoublage de l'image du PAN en fin de séquence**

La phase de dédoublement en fin de la séquence vidéo dure 10,5 secondes (1:24:42 à 1:24:52) ; la distance angulaire entre les 2 « objets » augmente jusqu'à 0,044 degré, ce qui représente une distance minimale de 7 mètres, et de 60 mètres dans l'hypothèse où le PAN et son double hypothétique volent dans le même plan horizontal au niveau de la mer.



**Fig. 11**

Plusieurs hypothèses ont été formulées pour expliquer le dédoublement de l'image de l'objet :

- anomalie liée au système d'acquisition de l'image avec une réflexion parasite (hypothèse questionnée par l'absence d'atténuation de l'image réfléchie),

- vol en essaim de deux drones en vol rapproché, puis séparation temporaire (scénario possible physiquement),
- rupture ou dédoublement de l'objet type drone à l'impact sur l'eau,
- effet de mirage type fata morgana avec réfraction sur des couches d'air froides (voir Annexe B), mais les conditions météorologiques et la possibilité de mirage en infrarouge ne sont pas démontrées.

Aucune de ces hypothèses, toutes recevables d'un point de vue théorique, ne peut cependant être ni vérifiée ni réfutée.

## 6. Exploitation des données numériques des images vidéo

L'exploitation des données numériques permet de construire la trajectoire du DHC-8, la courbe des positions du target et les lignes de visée de la caméra joignant les positions avion à celles du target.

On rappelle que le target (TGT sur l'image vidéo) désigne l'objet visé par la caméra. Les coordonnées de sa position dans l'espace, indiquées sur la vidéo, sont calculées à partir des données recueillies par le système optronique, notamment la distance caméra-target mesurée par le dispositif laser de la boule optronique Wescam.

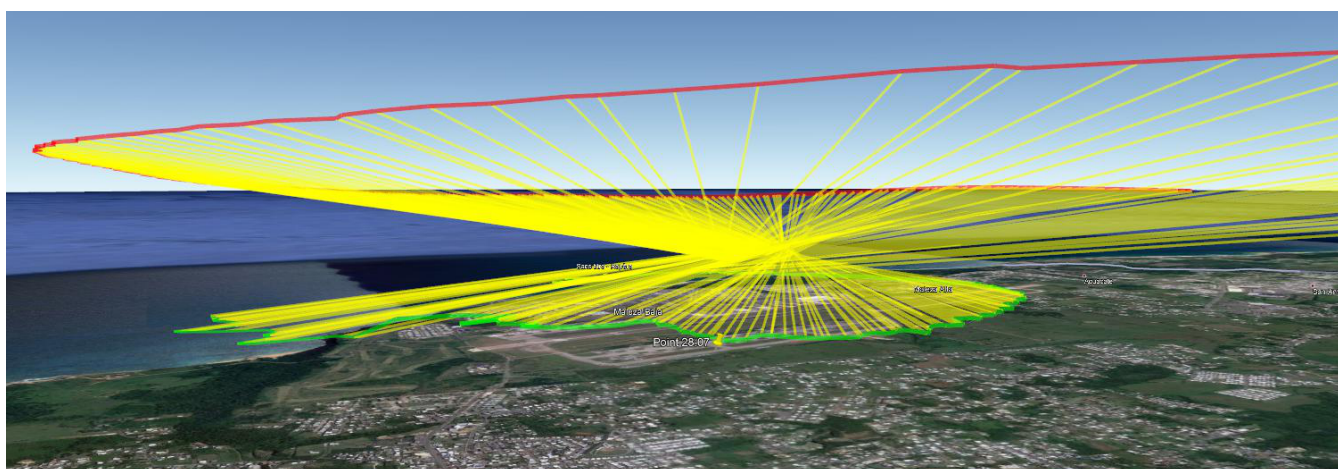


Fig. 12 – En rouge : trajectoire du DHC-8 ; en vert : positions du target ; en jaune : les lignes de visée

**Analyse de la trajectoire avion** : les positions relevées sur la vidéo correspondent parfaitement (positions et timing) à celles établies à partir des données radar : cette correspondance accrédite la véracité des témoignages et l'authenticité de la vidéo (voir figure 1).

**Analyse de la courbe des positions du target** : l'analyse des coordonnées et de l'altitude du target montre clairement que les positions du target correspondent aux points sol qui sont dans l'axe de la ligne de visée, en arrière-plan du PAN : de fait, le laser mesurant la distance avion-target n'accroche pas sur le PAN, mais sur le sol. **Le target n'est pas le PAN.**

Les distances réelles avion/PAN restant indéterminées ; **il n'est pas possible de déduire de la vidéo ni la position du PAN sur la ligne de visée, ni sa vitesse, ni son altitude. On peut seulement affirmer que la projection de sa trajectoire est inscrite à l'intérieur de la zone jaune balayée par les lignes de visée (figure 13).**



Fig. 13 – La projection de la trajectoire du PAN est dans la zone jaune

**L'incertitude sur la position réelle du PAN sur la ligne de visée incite à considérer les images vidéo avec précaution : le survol par le PAN de la zone en arrière-plan sur la vidéo peut n'être qu'une impression visuelle, ce n'est pas une certitude ; et il n'est pas du tout assuré que le PAN ait survolé la mer (cela dépend du profil de vol et de l'altitude).**

Par ailleurs, la figure formée par les positions target présente plusieurs points d'irrégularité, notamment au début de la séquence vidéo (secondes 1 à 9, secondes 9 à 10, secondes 20 à 26), puis plus loin, à la seconde 108 :

- secondes 1 à 9 : plusieurs ajustements en site de la caméra provoquent des modifications de la ligne de visée, donc du point visé par la caméra, d'où résultent des variations importantes de la distance target,
- secondes 20 à 26 : l'opérateur commande le grossissement 675 ; il doit corriger le site de la caméra pour garder le PAN dans le champ optique et change donc la position du point sol visé.
- secondes 9 à 10 et seconde 108 : le franchissement de la côte présente un dénivelé important, d'où les brusques variations de la position du point sol visé et de la distance target,

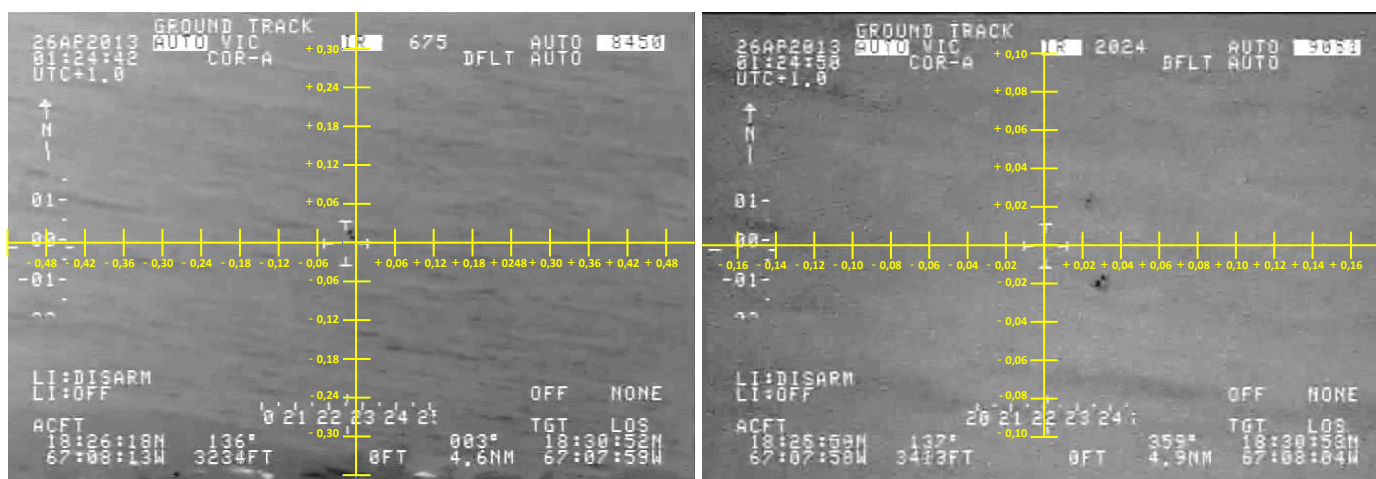


Fig. 14 – La forte déclivité du terrain au passage de la côte provoque l'important changement de position du point visé par la caméra et donc de la distance laser

**Poursuite optique** : au visionnage de la vidéo, on observe des irrégularités de la vitesse de défilement du paysage ainsi que des à-coups en gisement dans la poursuite du PAN (impression de mouvements horizontaux brusques du PAN) ; l'évolution dans le temps du relèvement de l'ensemble optique (valeurs lues sur l'enregistrement vidéo) est marquée par des discontinuités (paliers) suggérant que l'orientation de la caméra a été commandée par l'opérateur et non par un système de poursuite automatique.

**Lignes de visée** : elles forment une nappe qui présente une particularité tout à fait intéressante au plan de l'élaboration des hypothèses de trajectoires possibles du PAN ; en effet, **les croisements des lignes de visée sont concentrés dans une zone de dimensions restreintes à proximité immédiate de l'aéroport** (voir les figure 12 et 13).

Les lignes de visée, reconstituées à partir des données affichées sur la vidéo, relient les positions avion et les positions target correspondant au centre de l'alidade de visée : telles quelles, elles présentent une source d'erreur pour une étude cohérente d'hypothèses de trajectoire du PAN ainsi que développée ci-après. Il est apparu pertinent de recalibrer les lignes de visée sur le PAN en prenant en compte le dépointage entre l'axe de la caméra et le PAN : en se basant sur les données de champ angulaire (documentation Wescam), on a pu établir une échelle angulaire permettant de mesurer le dépointage.



**Fig. 15 – Construction d'une échelle d'évaluation des écarts angulaires pour 2 valeurs du grossissement**

Cette correction permet de construire une nouvelle nappe de lignes de visée, sur le PAN cette fois-ci. Tous les calculs dans le chapitre suivant prennent en compte cette nouvelle nappe.

On remarque que, pendant le créneau 5 à 12 secondes de l'enregistrement vidéo, les données target affichées sont erratiques, en longitude notamment : en effet, la poursuite, imprécise, sous un angle de site faible, en grossissement 135, induit des mesures laser peu fiables sur des points dans une zone littorale découpée. On n'a pas pris en compte ces 8 secondes dans les calculs à suivre.

**Précision des données affichées** : la précision des données numériques relevées sur l'enregistrement est insuffisante pour conduire des analyses élaborées de trajectoires du PAN, en particulier, l'indication d'azimut target, donnée en degrés entiers. Il s'ensuit des irrégularités dans les résultats des calculs, qui se traduisent par des tracés de trajectoires et des graphes accidentés.

## 7. Recherche de trajectographies cohérentes

La démarche de l'équipe d'experts a consisté à rechercher, sur la base des données relevées sur la vidéo, des profils de vol potentiels du PAN qui soient cohérents avec l'enveloppe des lignes de visée, et à étudier leur compatibilité avec des types de mobiles connus, en termes de performances ou de profil de vol. Les profils envisagés permettent d'encadrer les options de cinématiques et de recouper les données radiométriques (signature, effets d'occultation, etc...).

Nous avons donc étudié différents profils de vol remarquables, susceptibles « d'encadrer » celui du PAN :

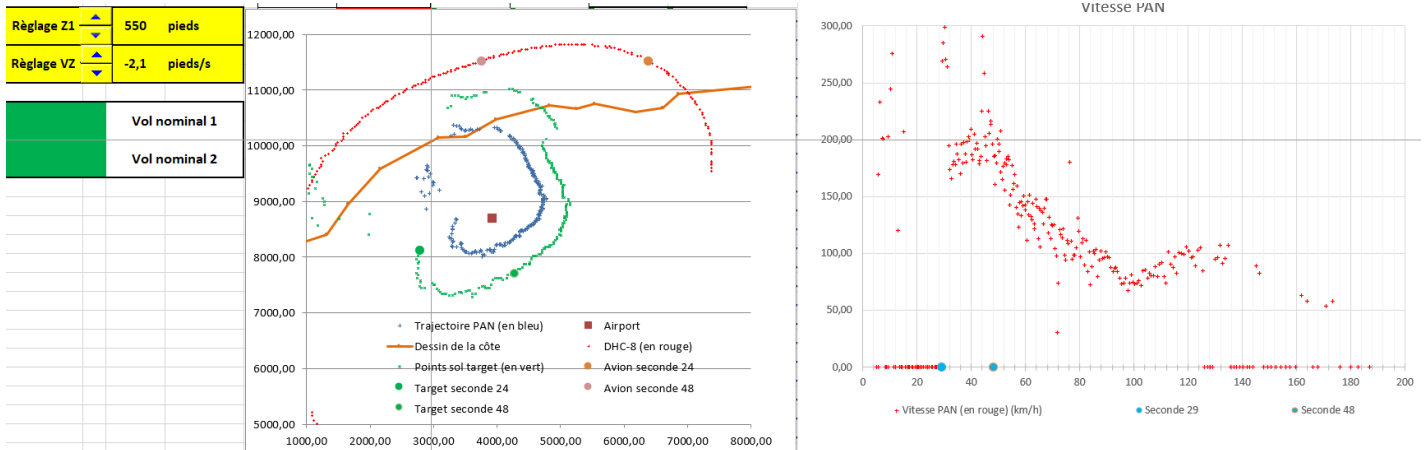
- des profils à comportement type : profil PAN « en accompagnement » de l'avion d'observation », profil suivi de terrain,

- des profils à iso-vitesse verticale.

Les profils ont été élaborés par le calcul à partir des données lues sur la vidéo et des hypothèses prises en compte (suivi de terrain, vitesse verticale constante, etc.). Ils ont été étudiés sous différents angles :

- trajectographie à partir de représentation graphique,
- dynamique des vitesses.

Un simulateur ad hoc permet de générer les trajectoires et les graphes associés.



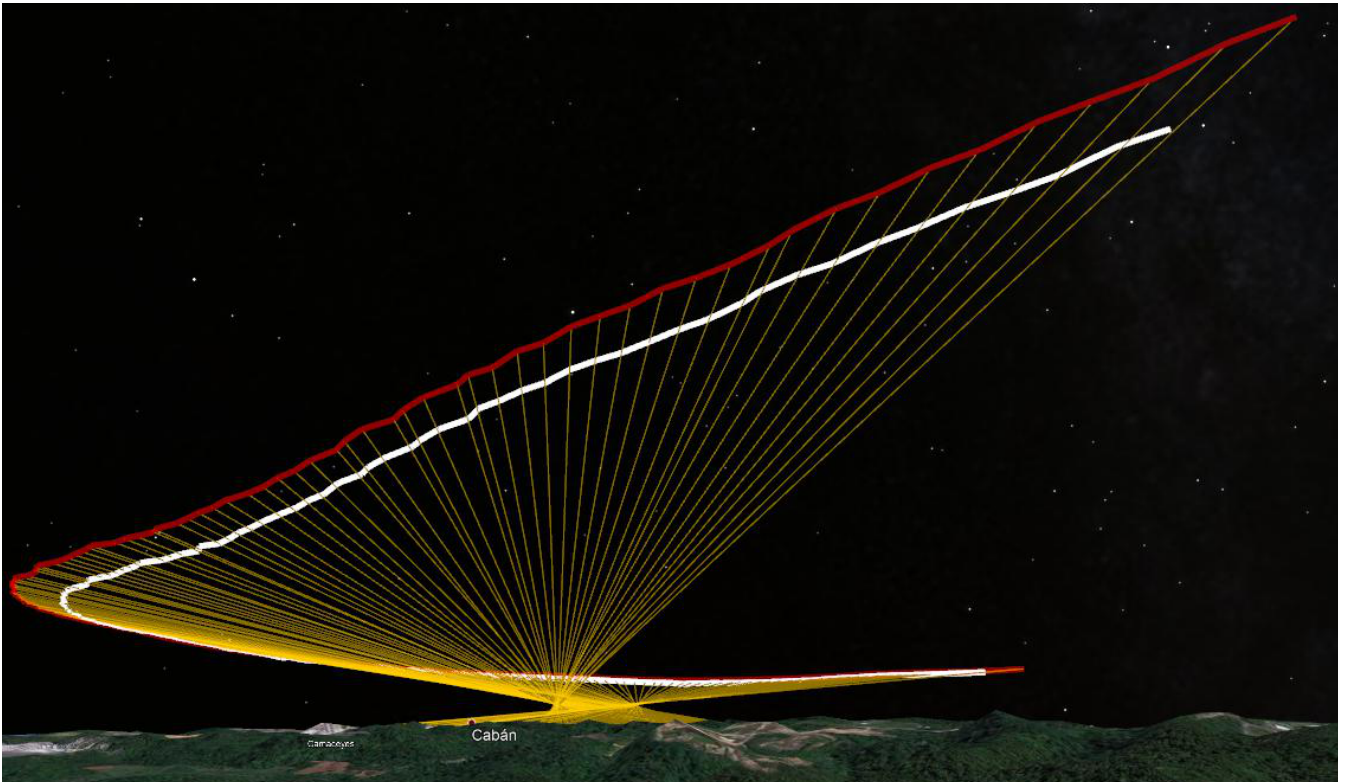
**Fig. 16 – Simulateur : en jaune, sélection de Z1 et VZ, en vert, indication de validité de la trajectoire (vérifie que Z PAN reste inférieur à Z DHC8 et supérieur à élévation sol)**

En première constatation, toutes les simulations confirment la trajectoire sinistrogre du PAN autour de l'aérodrome, en coordination apparente de mouvement et en opposition de phase avec l'avion observateur.

La vitesse du PAN est évaluée à partir des coordonnées calculées de sa position, dont les valeurs sont très dispersées du fait des imprécisions des données de la vidéo ; pour obtenir une dispersion maîtrisée, on a, pour chaque pas de calcul, mesuré la vitesse sur la distance séparant la position du PAN sur la ligne de visée « n », de sa position sur la ligne « n-10 » ; l'écart de temps est de l'ordre de 5 secondes en début de trajectoire, 25 secondes à la fin. La méthode de calcul de vitesse implique que la première valeur interprétable apparaît à la seconde 10. Les graphes de vitesse en fonction du temps font apparaître des nuages de points permettant d'évaluer des moyennes. On a attribué la valeur 0 à la vitesse quand son calcul est impossible.

**1. Profil PAN « en accompagnement » de l'avion d'observation (on a fixé arbitrairement un différentiel d'altitude de -100 ft par rapport à l'altitude du DHC-8) :**

La position du PAN à un instant t est calculée en recherchant sur la ligne de visée correspondante le point d'altitude Z avion – 100 ft.

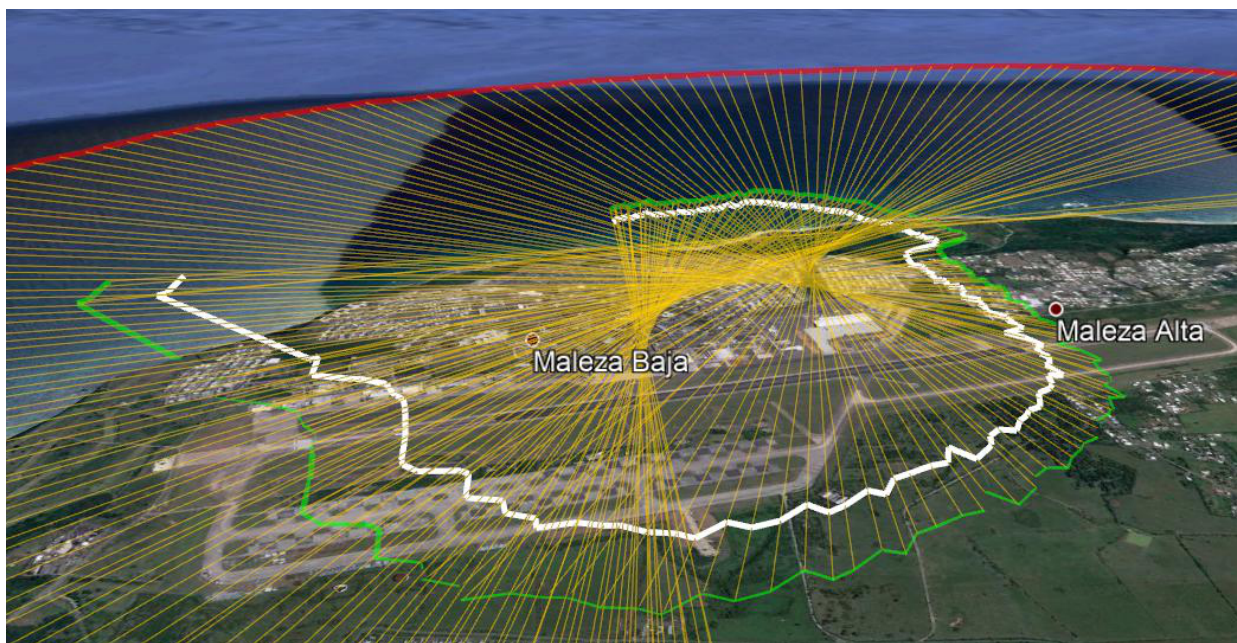


**Fig. 17 – Trajectoire PAN (en blanc) à 100 ft en dessous du DHC-8 (en rouge)**

- les paramètres de vol du PAN , très proches de ceux de l’avion, suggèrent des performances comparables à celles de l’avion, notamment en termes de vitesse,
- la trajectoire est plausible aux plans géométrique et cinématique.

**2. Profil suivi de terrain : ce cas correspond à celui de l’étude SCU. Le PAN est proche des points sol target.**

On a fixé l’altitude de suivi de terrain à 100 ft au-dessus des points target. La position du PAN à un instant t est l’intersection de la ligne de visée avec le plan de hauteur Z target + 100 ft.



**Fig. 18 – En blanc : la trajectoire PAN en suivi de terrain à 100 ft**

- La trajectoire, proche de la ligne des positions target, reproduit ses irrégularités,

- la vitesse du PAN, de l'ordre de 280 km/h jusqu'à la seconde 48, décroît ensuite pour se stabiliser autour de 100/120 km/h ; elle présente une discontinuité à la seconde 109, expliquée par le décrochement d'altitude terrain.

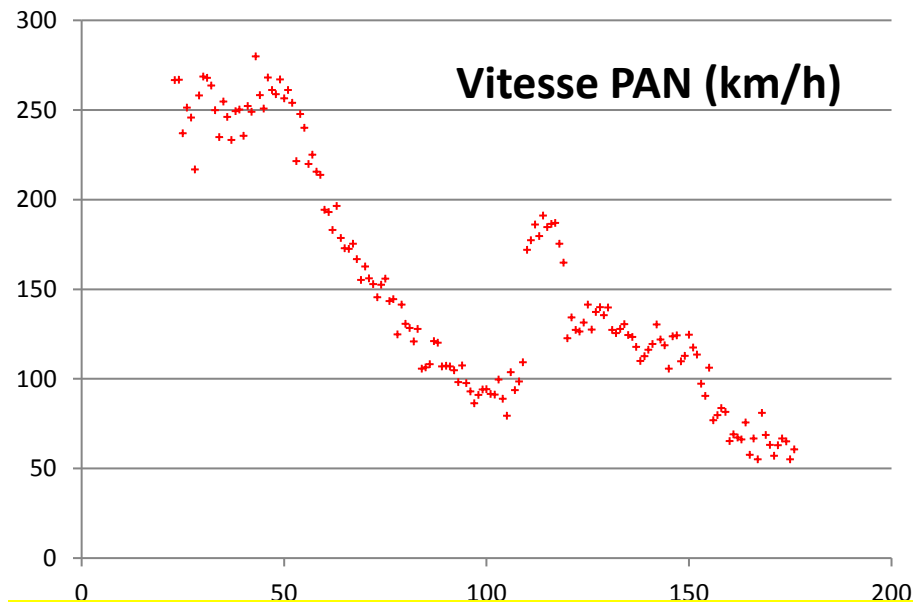


Fig. 19 – Vitesses sur la trajectoire PAN en suivi de terrain à 100 ft

Les éléments de trajectographie et de vitesse n'apportent pas d'informations significatives permettant de valider ni de rejeter l'hypothèse d'une trajectoire en suivi de terrain.

### 3. profils de vol à iso-vitesse verticale

On a étudié ces modèles de trajectoires en faisant varier 2 paramètres : la vitesse verticale VZ du PAN et l'altitude Z1 au point de départ de la trajectoire, sur la première ligne de visée (seconde 0 de l'enregistrement vidéo).

Les trajectoires sont construites de façon itérative à partir de la position initiale du PAN : le calcul de la position du PAN sur la ligne de visée « n » est effectué à partir de la position sur la ligne de visée « n-1 » en appliquant le différentiel d'altitude entre les instants « t-1 » et « t » compte tenu de la vitesse verticale VZ.

Le simulateur (voir figure 16) permet d'observer dynamiquement les transformations des profils lorsqu'on fait varier Z1 et VZ. On a testé ainsi les profils associés à 52 couples (Z1, VZ), Z1 variant de 400 à 1600 ft et VZ de -8 à +10 ft/s.

**Trajectoires :** L'allure générale des trajectoires est une courbe plus ou moins fermée, formant parfois une boucle.

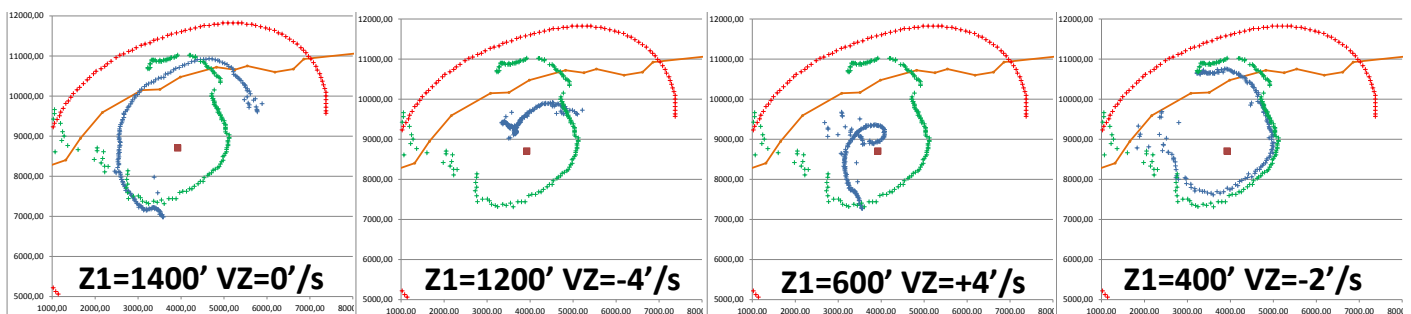
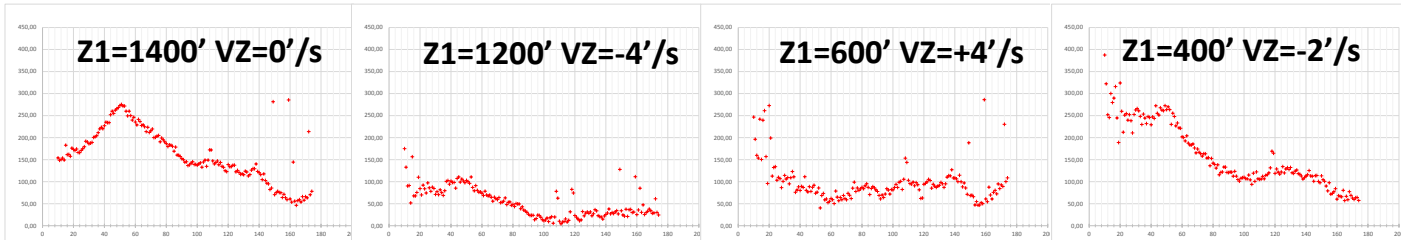


Fig. 20 – Modèles de trajectoire iso-VZ (en bleu)

Aucune des trajectoires étudiées ne présente d'incompatibilité avec les performances de mobiles aériens connus, mais aucune ne permet de privilégier une hypothèse particulière de profil ou de type de mobile.



**Profils des vitesses** : les profils de vitesses ont la particularité de présenter un pic (maximum de vitesse) toujours autour de la seconde 48 (si Z1 est inférieur à 1000 ft), ou de la seconde 52 (si Z1 est supérieur à 1000 ft) : la vitesse du PAN est en augmentation entre les secondes 29 et 48 avant de décroître puis de se stabiliser après être éventuellement passée par un minimum. La question de la raison de ce pic autour de la seconde 48 n'a pas encore reçu de réponse.



**Fig. 21 – Exemples de profils de vitesses, correspondant aux modèles de trajectoire de la figure 19**

Ce profil en dent de scie s'atténue pour disparaître pour des valeurs de vitesse verticale comprises entre -3 et +3 pft/s ; la vitesse du PAN est stable, inférieure à 100 km/h (fourchette de 30 à 80 km/h) et son altitude évolue autour des 850 ft, dans la tranche 500 à 1200 ft.

Les valeurs de vitesse en fin de trajectoire sont toujours comprises entre 20 km/h et 180 km/h.

En conclusion, aucun modèle de trajectoire n'apparaît absurde ni incompatible avec les évolutions d'un aéronef. Certains modèles, dont les profils de vitesse sont stables ou présentent des évolutions « raisonnables », pourront être jugés plus plausibles.

### Focus sur 3 profils de trajectoire particuliers

On examine ici 3 profils intéressants :

- les trajectoires iso-altitude, cas particuliers d'iso-VZ,
- une trajectoire remarquable : la route du PAN est rectiligne et sa vitesse est stable,
- les trajectoires compatibles d'un impact avec la mer :
  - descente rapide, puis palier basse altitude au-dessus de la terre suivi d'un vol rasant sur la mer (plongeon selon SCU),
  - ou descente rapide directement vers la mer, correspondant à ce qui apparaît sur la séquence vidéo.

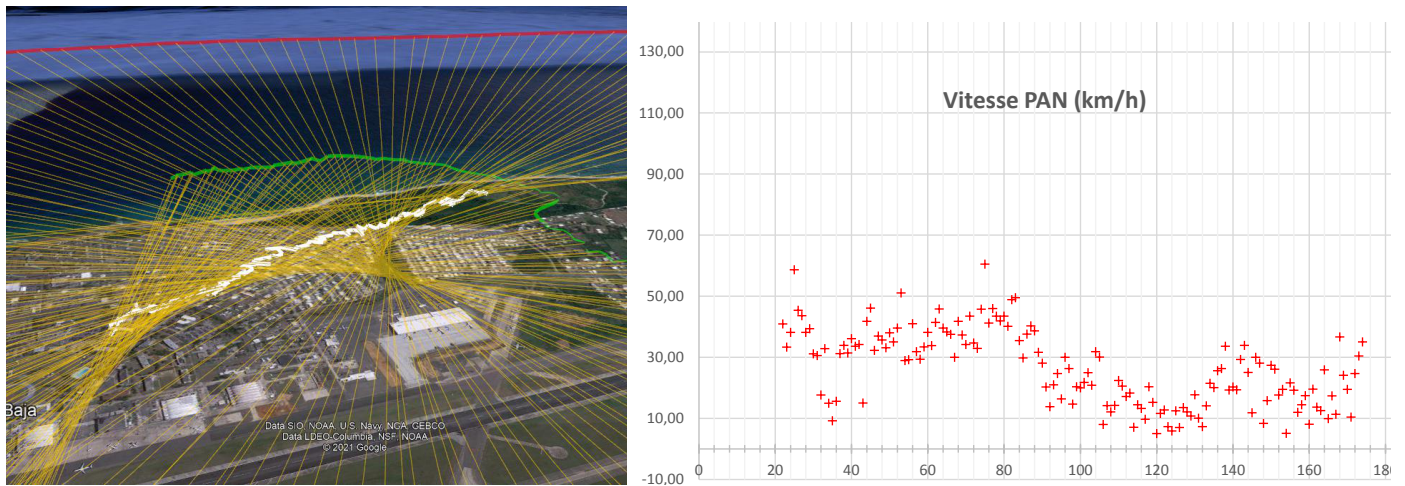
#### 3.1. Trajectoires iso-altitude :

Les finales de toutes les trajectoires de ce type ont lieu sur terre et sont donc incompatibles d'un éventuel impact avec la mer ; les dynamiques de vitesses ont un profil variable (en dent de scie plus ou moins atténué suivant l'altitude) ; les valeurs de vitesse sont contenues dans une fourchette de 50 à 370 km/h ; en-dessous de 1200 ft, aucune trajectoire ne survole la mer.

Ces trajectoires sont théoriquement plausibles.

#### 3.2. Trajectoire rectiligne et stable en vitesse :

Pour des couples de valeurs (Z1,VZ) voisins du couple (1000 ft,-2 ft/s), la trajectoire du PAN est quasiment rectiligne et parallèle à la piste ; elle se développe sur une distance très courte, comparativement aux autres trajectoires, au-dessus de l'agglomération jouxtant l'aérodrome au nord. La vitesse horizontale est stable en dessous de 50 km/h.



**Fig. 22 – Trajectoire PAN pour le couple 1000 ft/-2 ft/s**

La stabilité des paramètres cinématiques tend à conférer une plausibilité forte à ce profil.

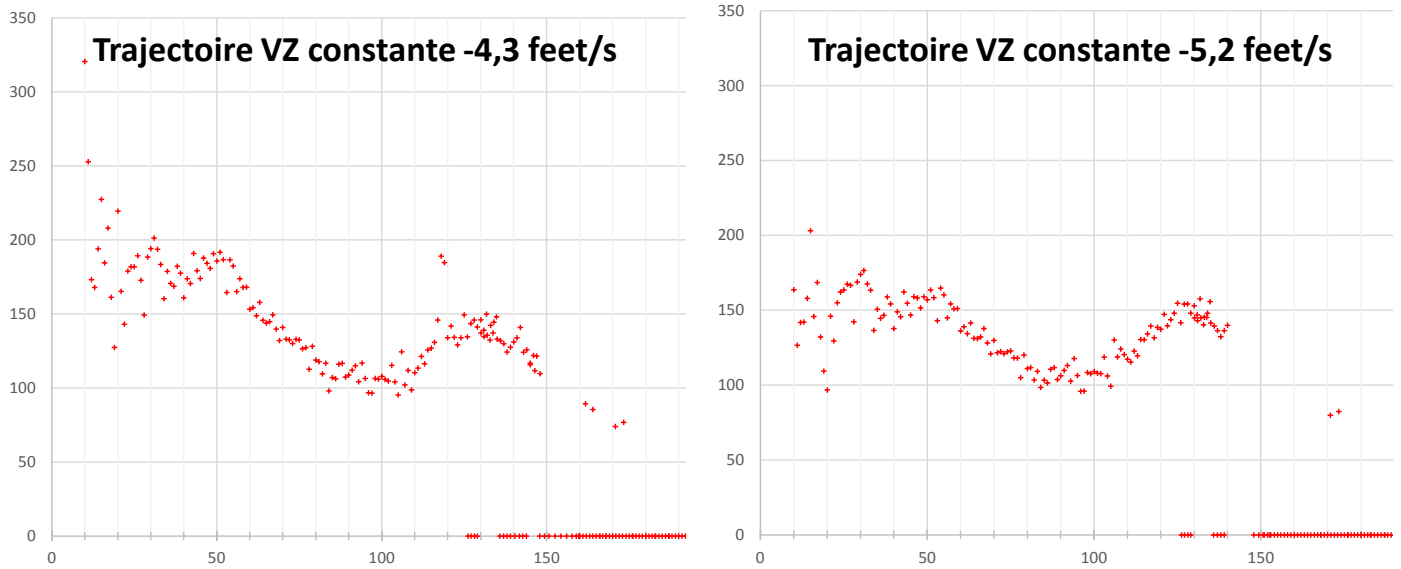
**3.3. Trajectoire plongeante vers un palier sur la mer (avec éventuellement palier intermédiaire sur terre):**

La capacité de ricocher ou de réémerger suppose une faible vitesse verticale du PAN en finale, d'où la contrainte de passer la falaise (seconde 108) à très faible hauteur : la vitesse verticale se situera dans la fourchette -4,3 ft/s (passage au ras de la falaise) à -5,2 ft/s (passage de la falaise à une hauteur d'environ 40 ft).



**Fig. 23 – Trajectoire PAN pour VZ = -4,3 ft**

Si on considère une trajectoire iso-vitesse verticale, l'altitude Z1 sera dans la fourchette de 640 à 780 ft. Les profils de vitesses pour les 2 valeurs de VZ, déterminant la fourchette 80 à 200 km/h, sont les suivants :



**Fig. 24 – Profils de vitesses**

Ce profil de trajectoire est théoriquement envisageable.

On peut aussi imaginer d'autres profils de vol où la vitesse verticale VZ est plus forte jusqu'à la seconde 108 et redevient faible au passage de la falaise. Le profil ci-dessous est initialisé à partir d'une altitude de 1800 ft avec une VZ de - 15 ft/s.



**Fig. 25 – Profil à VZ élevée en début de trajectoire**

Ce type de profil conduit à de fortes variations de la vitesse : 300 km/h décroissant jusqu'à 50 km/h avant de rejoindre la fourchette 100/150 km/h de la finale.

## 8. Elaboration et évaluation des hypothèses

Sur la base des modèles de trajectoire présentés, plusieurs scénarios ont été construits : ils sont présentés ci-dessous, et leur plausibilité est évaluée au regard de leur cohérence avec les éléments techniques disponibles (détection radar, données météorologiques), les événements observés sur la vidéo, les témoignages recueillis, et enfin de leur cohérence en termes de crédibilité opérationnelle.

Les mobiles susceptibles d'être associés aux trajectoires étudiées sont répertoriés dans le tableau qui suit ; on n'a retenu que les mobiles compatibles de la dimension métrique (< 1,20 mètre) ; pour chacun des types de mobile, on a choisi un modèle de référence en précisant ses performances.

	Exemple représentatif	Plafond (mètres)	Plage vitesses (km/h)	Propulsion	RCS (m <sup>2</sup> )	Dimensions span/length (m)	Source infrarouge	Temp apparente (°C)
Lanterne thaï	Sans objet	600	SO	SO	?	∅ = 0,5	Brûleur	60
Micro-drone*	DJI Phantom 4	6 000	0/72	4 électriques	< 0,01	< 0,7	Moteurs + batterie	35/37
Mini-drone	TTA America M 6A Pro	1 500	0/36	6 électriques	< 0,1	∅ = 1,6	Moteurs + batterie	?
* Portée radio-commande jusqu'à 8 km								

**Fig. 26 - Les mobiles aériens « traditionnels »**

Cependant, les exigences de vitesse présentées par certains profils sont incompatibles des performances des micro et mini-drones « traditionnels » (voir le § 5.13.3.4 du rapport et son annexe pour plus de détails sur les drones et le § 5.2 pour les signatures en infrarouge) . On a élargi le catalogue des candidats à des drones tels que le Racer X et ceux de la famille des JetQuad, capables de vitesses élevées ; mais ceux-ci ne sont apparus qu'en 2016 pour l'un et 2017 pour les autres : sans qu'on puisse exclure que des prototypes aient pu être utilisés au moment des faits (2013), la probabilité pour les solutions fondées sur ces engins rapides est très faible.

Ils seront désignés, plus bas, sous l'appellation de mini-et micro-drones rapides.

	Exemple représentatif	Plafond (mètres)	Plage vitesses (km/h)	Propulsion	RCS (m <sup>2</sup> )	Dimensions span/length (m)	Source infrarouge	Temp apparente (°C)	Exhaust temp. (°)
Micro-drone	Racer X	?	0/290	4 électriques	?	?	Moteurs + batterie	?	SO
Micro-drone	JetQuad AB5	10 000	0/480	4 micro-turbos	?	1,2	ch. comb & exhaust	?	200/300
Micro-drone	JetQuad AB6	10 000	0/400	4 micro-turbos	?	1,2	ch. comb & exhaust	?	200/300

**Fig. 27 – Les mini et micro-drones rapides : Racer X et JetQuad**

En termes de visibilité, dans le visible et dans l'infrarouge, ces mobiles se distinguent ainsi :

- Les mini-drones et micro-drones électriques

Les plus « discrets » des mobiles de la liste ; petite taille (quelques dizaines de cm), et surtout pas de combustion interne. Les moteurs électriques dissipent peu de chaleur. On a donc une signature IR en bande 2 et en bande 3 faible, avec une température apparente de 35 à 45° (selon la bande et le modèle)<sup>3</sup> donnant des portées d'observation de l'ordre de un à plusieurs km, . En visible, la signature dépend fortement de la peinture utilisée mais est très faible de nuit. Pour affiner la détectabilité des différents objets (drones, lanterne,...) par la caméra IR de l'avion, il faudrait faire une analyse spécifique de bilan de



<sup>3</sup> <https://www.spiedigitallibrary.org/journals/Optical-Engineering> on 22 Mar 2021

liaison qui n'a pas été réalisée.

- les maquettes<sup>4</sup> ou micro-drones à réaction



**Fig. 28 – Maquette Rafale et JetQuad**

La propulsion est assurée par un ou 2 micro réacteurs.

La signature en visible est faible (fortement dépendante de la peinture, le jet signant peu visible).

La signature IR en bande 2 est très élevée à cause du jet de réacteur qui s'étend sur plusieurs dizaines de cm à l'arrière de la tuyère (émission en IR bande 2 par les gaz de combustion du kérosène ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}$ ,...))

En bande 3, la signature IR dépend fortement de l'angle d'aspect ; la tuyère chaude est l'élément le plus signant, donc faible signature de face et de travers, forte signature pour les vues arrières. Si la combustion est bien réglée, il y a peu de suies dans le jet et donc un rayonnement du jet très faible dans cette bande.

- La lanterne Thai



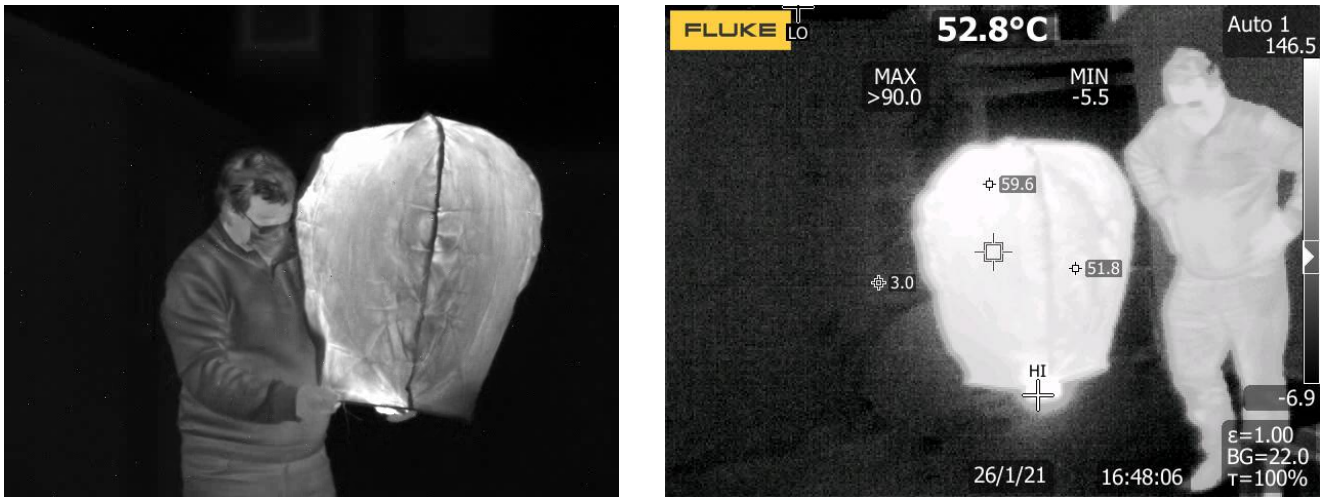
La taille typique est inférieure à 1m. Nous avons effectué des mesures de SIR sur 2 types de lanterne de tailles comparables. Les mesures sont effectuées à l'extérieur mais en retenant la lanterne par un fil pour ne pas la lâcher dans la région parisienne. Les mesures sont effectuées avec une camera thermique bande 3 et un thermo point qui fourni une image de mauvaise qualité mais une très bonne mesure de température apparente. Quelques exemples des images obtenues sont donnés ci-dessous.

On observe une température mesurée assez élevée ( entre 50 et 60°C) confirmée par des mesures par contact. Comme la lanterne est « captive », ces mesures correspondent à un maximum. Il faut cependant atteindre ces valeurs pour que la lanterne s'envole. La température ambiante était de 4°C

<sup>4</sup> La maquette, bien que dépassant 1,20 mètre le plus souvent, a été présentée pour sa valeur exemplaire.

La combustion du foyer dure environ 5mn et la montée en température demande entre 30 et 60s. Par contre l'inertie thermique est très faible (quelques secondes) et la signature IR comme visible chute très rapidement dès que la flamme s'éteint ou qu'un coup de vent couche la lanterne.

En résumé, tant que la flamme brûle, la signature IR de la lanterne est significative et, de nuit, la signature visible est importante ; mais, dès l'extinction de la flamme, la signature visible disparaît et la signature infrarouge s'écroule très rapidement.



**Fig. 29 – A gauche, exemple d'image IR bande 3 – A droite, image Thermo point : la température affichée en haut (52,8°C) correspond au centre de l'image, les 3 points de mesure en périphérie donnent une idée de la dispersion**

La prise en compte de ces éléments permet d'instruire l'évaluation des scénarios.

### **8.1. Trajectoire « en accompagnement » de l'avion d'observation (ZDHC-8 – 100 ft) :**

L'accompagnement de l'avion suppose pour le PAN un spectre de performances comparables à celles du DHC-8, dont seuls sont capables les mini et micro-drones rapides.

Détection radar : au-dessus de la terre, le DHC-8 n'est que rarement détecté ; il n'est pas anormal qu'on ne détecte pas le micro ou mini-drone dont la surface équivalente radar est largement inférieure ; au-dessus de la mer, où la détection est meilleure, on peut penser que le drone aurait dû être détecté.

La signature infrarouge pourrait être cohérente avec ce qui est constaté sur les images vidéo, mais les disparitions et le dédoublement sont difficilement explicables compte tenu de la proximité immédiate d'avec l'avion observateur.

L'accompagnement du DHC-8 exclut l'hypothèse de la trajectoire rasante et d'un impact avec la mer.

Observation visuelle d'une lumière rose-rouge par l'équipage du DHC-8 : l'observation de la lumière au nord de l'avion par le pilote est cohérente avec le scénario ; cependant, sa disparition, dont seule l'extinction peut être la cause (l'équipage n'aurait pas pu ne pas voir la lumière très proche pendant la phase de détection infrarouge) suppose que l'objet est équipé d'un dispositif lumineux (repérage, sécurité ?) dont on aurait interrompu le fonctionnement.

Il est difficile de trouver une raison pour justifier qu'un drone accompagne le DHC-8, de nuit.

En conclusion, la probabilité de vraisemblance de ce profil est très faible.

## **8.2. Profil suivi de terrain (hauteur de vol < 100 f) :**

Le domaine de vitesses calculé sur cette trajectoire (entre 90 et 280 km/h) limite ce profil aux micro ou mini-drones rapides.

Compte tenu de l'altitude, on ne peut se prononcer sur la cohérence avec la détection radar.

Il n'y a pas d'incohérence marquée de la signature infrarouge en regard des motorisations de ces drones.

Les disparitions de l'image du PAN pourraient correspondre à des nébulosités locales basse altitude (liées à l'humidité ambiante) que certaines images laissent supposer sans qu'il soit possible de le confirmer ou de l'infirmier. L'occultation par un masque nuageux en altitude n'a pas été retenue (le paysage en arrière plan serait lui aussi occulté).

Elles pourraient aussi correspondre au passage de l'objet derrière des obstacles (arbres, ...). Cependant, la profusion de poteaux électriques et téléphoniques et d'arbres de hauteur comparable rend la navigation à très basse altitude (et de nuit) extrêmement risquée, et cette hypothèse est peu probable.

La question de la lumière rose-rouge reste posée (pourquoi cette lumière aurait-elle disparu ?) ; en tout état de cause, aucun témoignage ne fait état d'un survol de l'aérodrome à basse altitude par un objet volant, incluant la traversée de la piste par 2 fois : si le PAN avait rayonné dans le spectre visible, au moins le personnel de la tour de contrôle s'en serait aperçu. De plus, la trajectoire n'est pas cohérente avec le témoignage du pilote (voit le PAN au nord de l'aérodrome juste avant la détection IR).

Faire voler un drone de nuit, à très basse altitude, sur une distance non négligeable est théoriquement envisageable, mais techniquement difficile à réaliser (contexte 2013) sauf à partir de waypoints ; de plus, la prise de risque et l'intérêt opérationnel du survol (sans contrôle) d'une zone habitée (discrétion ?) et, surtout, d'un aérodrome en activité ne trouvent pas d'explication plausible.

En conclusion, la plausibilité de ce profil, avec un drone performant de petite taille, est faible.

## **8.3. Trajectoires iso-altitude :**

Selon l'altitude considérée, les profils de vitesse conduisent à des hypothèses de mobiles différentes : micro et mini-drones « classiques » sont compatibles des altitudes de la tranche 600 à 1200 ft ; en dehors, les profils de vitesse s'étendent au-delà des 150 km/h et limitent l'accès aux micro et mini-drones rapides.

L'étude des trajectoires iso-altitude montre que :

- en-dessous de 1200 ft, aucune trajectoire ne survole la mer : l'absence de détection radar n'est pas rédhibitoire,
- quelle que soit l'altitude, la finale de trajectoire ne survole pas la mer : l'hypothèse de l'impact avec la mer ne peut être retenue.

Il n'y a pas d'incohérence marquée de la signature infrarouge en regard des motorisations des drones. A altitude stable, la disparition d'image et le dédoublement sont peu compatibles de ce type de scénario.

Les réserves quant à la cohérence avec les témoignages sont renouvelées : disparition sans explication de la lumière rose-rouge, pas de témoignage visuel autre que celui de l'équipage du DHC-8.

Aucun scénario opérationnel ne peut être mis en évidence, pas plus que la raison de l'absence d'un contact avec la tour de contrôle.

La plausibilité de l'hypothèse est faible.

#### **8.4. Trajectoire rectiligne et stable en vitesse (Z1 = 1000 ft, VZ = -2 ft/s) :**

La trajectoire est orientée au 235°, les vitesses sont inférieures à 50 km/h, la tranche d'altitude d'évolution se situe entre 600 et 1000 ft : les mobiles compatibles sont les aérostats du type lanterne thaï et les micro et mini-drones (classiques ou rapides).

La compatibilité avec les données détections radar n'est pas incohérente : la faible SER (surface équivalente radar) de la lanterne thaï et la mauvaise détection au-dessus de la terre suffisent à justifier l'absence de détection du PAN.

Les données vent : au sol, vent d'est 13 à 20 km/h, vent en altitude (mesuré à San Juan) d'est/nord-est pour 19 à 29 km/h, sont proches des performances PAN calculées.

La signature infrarouge sur la vidéo apparaît exagérément forte au regard des caractéristiques de la source de chaleur d'une lanterne thaï.

Les disparitions et le dédoublement de l'image infrarouge ne peuvent être expliqués, exception faite de l'extinction de la flamme de la lanterne thaï à la disparition finale.

L'impact avec la mer n'est pas possible.

L'étude des témoignages ne contredit pas formellement l'hypothèse : le pilote du DHC-8 voit l'objet « vers le nord » alors que l'avion longe la piste par le sud ; et la tour confirme. Cependant, la disparition de la lumière rose-rouge ne trouve pas d'explication, surtout dans l'hypothèse de la lanterne thaï.

En termes de scénario, le fait, pour un drone, de longer l'aérodrome en suivant une route parallèle à la piste présente une relative cohérence, mais la raison de ce déplacement ne trouve pas d'explication.

- l'hypothèse du drone est cinématiquement et radiométriquement cohérente, mais ne trouve pas de justification opérationnelle raisonnable, sauf à la rapprocher des cas de survol d'aéroports et de zones sensibles observés maintes fois dans les années 2013-2014,
- enfin, l'hypothèse de la lanterne thaï est cohérente (route, vitesse), mais ne correspond pas au niveau radiométrique (la signature IR semble forte) ; la descente lente, alors que la combustion est encore opérante, n'est pas vraiment logique ; elle ne peut être expliquée que par l'existence d'un courant atmosphérique faiblement descendant, possible compte tenu du contexte d'instabilité atmosphérique, mais que nous ne pouvons confirmer.

Cette trajectoire présente un degré de plausibilité relativement élevé pour la lanterne thaï, moyen pour le drone..

#### **8.5. Trajectoires impactant la mer au point de plongeon apparent (passage au ras de la falaise) :**

Les valeurs possibles de la vitesse verticale en finale, contraintes par le passage de la falaise, conduisent à des profils de vitesse absolue en limite des performances des micro et mini-drones « traditionnels » (dans la phase finale, la vitesse n'est jamais inférieure à 150 km/h). Ne restent donc en lice que les micro et mini-drones rapides.

La partie supérieure des trajectoires se déroule au-dessus de la terre, la partie finale sur la mer, mais à très basse altitude : on considèrera que la cohérence est correcte.



Les disparitions de l'image infrarouge en finale et, à plus forte raison le plongeon, sont cohérents avec ces trajectoires.

La cohérence avec les témoignages reste faible : disparition de la lumière, pas d'observation du survol de l'aérodrome.

En termes de cohérence opérationnelle, mis à part des scénarios relevant des romans d'espionnage (mission de tests sur la zone aéroportuaire, on ne voit pas d'explication raisonnable justifiant ces trajectoires, sauf à envisager un vol illicite de drone comme il s'en est produit de nombreux cas sur des zones sensibles, dont des aéroports internationaux, depuis 2013..

Le tableau résumant la plausibilité des hypothèses est présenté ci-dessous.

Modèles de profil de vol	Objets volants compatibles de la dimension métrique et du domaine de vitesses	Cohérence avec les données radar	Cohérence avec les données vent	Cohérence avec les disparitions sur la vidéo	Cohérence avec l'hypothèse de l'impact avec la mer	Cohérence avec les témoignages	Plausibilité globale
Profil accompagnement DHC-8 (Z - 100 pieds)	Mini et micro-drones rapides	+	Sans objet	0	0	0	0
Profil suivi de terrain à 100 pieds	Mini et micro-drones rapides	Indéterminée	Sans objet	++	++	+	+
Profil à iso-altitude	Mini et micro-drones	++	Sans objet	+	0	+	+
	Mini et micro-drones rapides	++	Sans objet	+	0	+	+
Profil à trajectoire rectiligne, stable en vitesse (Z1=1 000 pieds, VZ=-2 pieds/s)	Lanterne thaïlandaise	Indéterminée (SER faible)	++	++	0	+	++
	Mini et micro-drones (classiques et rapides)	++	Sans objet	0	0	+	+
Profil à iso-VZ, Finale au point de plongeon apparent	Mini et micro-drones rapides	++	Sans objet	++	+++	+	++
Profil à VZ évolutive, finale au point de plongeon apparent	Mini et micro-drones rapides	++	Sans objet	++	+++	+	++

Fig. 30 – Tableau récapitulatif de plausibilité

## 9. Conclusions de l'étude

L'étude a été conduite sur la base des témoignages, des informations radar, image et des données numériques incrustées sur les images vidéo.

La confrontation des informations radar avec la cinématique du DHC-8 issue des données numériques a permis de vérifier l'authenticité et la cohérence des témoignages. Elle a aussi permis de dissocier le phénomène observé au radar de celui observé par l'équipage du DHC-8 et enregistré sur la vidéo : les échos radar qui ont alerté les contrôleurs de la tour d'Aguaquilla sont vraisemblablement dus à des formations orageuses dérivant vers l'ouest, loin de la zone où le PAN a été filmé.

Aucune détection radar ne correspond à une position potentielle de l'objet filmé par le DHC-8.

Les données image disponibles sont de piètre qualité, sans doute issues d'une mauvaise copie analogique :

- La taille du PAN a pu être évaluée : elle est de la classe métrique,
- il n'a été possible d'en tirer aucune information d'importance permettant d'établir des hypothèses quant à la nature, la forme du PAN pas plus que sur l'origine et l'importance de la source de chaleur à l'origine de la signature IR. Tout au plus peut-on supposer que l'objet semble émissif, et présente une structure comprenant un point chaud,
- la recherche d'explication des disparitions successives de l'image du PAN n'a pas permis de dégager d'hypothèses vérifiables (le passage derrière des arbres a été évoqué) ; l'impact hypothétique avec la mer ne trouve pas d'explication réaliste avec les mobiles que nous connaissons, mais le ricochet est possible, associé à un effet de brumisation occultant temporairement l'objet,
- le dédoublement de l'image du PAN n'a pas pu être expliqué,
- les données image n'ont pas permis d'enrichir l'analyse cinématique.

L'exploitation des données numériques incrustées sur la vidéo a permis de mettre en évidence l'impossibilité de déterminer la distance du DHC-8 au PAN (en effet, les données « target » désignent les points sol en arrière du PAN).

En revanche, il a été possible de reconstituer les lignes de visée successives et de limiter sur celles-ci les segments sur lesquels se trouve le PAN. De là, on a pu construire des modèles de trajectoires potentielles que l'on a confrontées aux témoignages recueillis, aux renseignements tirés des images.

On a éliminé les hypothèses fondées sur les aéronefs tels que avions de ligne, d'affaires, chasseurs, dont la taille est incompatible (excédant la dimension métrique).

Parmi les trajectoires, on n'a pas retenu :

- Le profil en accompagnement rapproché du DHC-8.

On a gardé comme possibles :

- Le profil à vitesse lente, en faible descente et à trajectoire sensiblement rectiligne, qui peut correspondre à un objet poussé par le vent (lanterne thaï ?), mais dont la signature thermique est faible au vu des images et dont on ne peut expliquer les occultations,
- Les profils à très basse altitude (suivi de terrain) ou en descente lente pour impacter la mer au point de plongeon apparent, qui pourraient être le fait de micro ou mini-drones propulsés par tuyère à gaz ou micro-turbine, mais dont l'existence au moment des faits (2013) n'est pas avérée ; cependant, on ne trouve pas de scénario opérationnel « raisonnable » qui puisse être associé à ces profils sauf celui de tests (relevant de scénarios de forces spéciales comme dans les films ou les romans) ou bien de survol illicite d'aéroport par des drones, dont de nombreux cas ont été constatés en différents pays depuis 2013.