



Association Aéronautique
Astronautique de France

LA SOCIÉTÉ SAVANTE DE L'AÉRONAUTIQUE ET DE L'ESPACE



TABLE RONDE 3AF / SEIN / Alumni - ONERA
MYSTÈRES ET ÉNIGMES DE L'AÉRONAUTIQUE
16 novembre 2020

Articles parus dans la Lettre 3AF

SOMMAIRE

Préface	4
<i>Bruno Chanetz, président du Haut conseil scientifique</i>	
HISTOIRE	
L'OISEAU BLANC... PREMIER AÉRONEF À AVOIR TRAVERSÉ L'ATLANTIQUE D'EST EN OUEST LES 8 ET 9 MAI 1927	5- 8
<i>Bernard Decré, membre de la Commission Technique 3AF Histoire</i>	
1927-2017 : ANNIVERSAIRE DES 90 ANS DE LA LIAISON AÉRIENNE NEW YORK- PARIS ET AUSSI DE LA PREMIÈRE LIAISON PARIS CONTINENT NORD AMÉRICAIN	9
<i>Bernard Decré</i>	
POINT DE VUE	
L'ÉNIGME DU VOL 370 DE LA MALAYSIA AIRLINES	10 - 13
<i>Jean-Marc Garot, membre 3AF</i>	
SCIENCES ET TECHNIQUES AÉROSPATIALES	
LA FIN DU VOL MH370 : UN AMERRISSAGE FORCÉ, ÉTUDE DU FLAPERON HEURTANT LA SURFACE DE LA MER	14 - 20
<i>Argiris Kamoulakos, Jean-Luc Marchand, Philippe Gasser, Michel Delarche et Jean-Marc Garot, membres de l'équipe CAPTIO</i>	
RECHERCHE DE DÉBRIS DE RÉACTEUR DU VOL AF66 ENFOUIS SOUS LES NEIGES DE L'INLANDSIS DU GROENLAND : UTILISATION D'UN RADAR AÉROPORTÉ POUR LE SONDAGE D'UNE GRANDE SURFACE	21- 29
<i>Hubert Cantalloube, Olivier Ruault Duplessis et Pascale Dubois-Fernandez</i>	
UN CAS TROUBLANT D'OBSERVATION AÉRIENNE AU CHILI	30 - 33
Analyse de la Commission Technique 3AF SIGMA2 <i>Luc Dini, Jean-Marc André et Joël Deschamps</i>	
POINTS DE VUE CROISÉS SUR LES PHÉNOMÈNES AÉROSPATIAUX NON IDENTIFIÉS OBSERVÉS EN INFRAROUGE ET RADAR	34 - 42
<i>Luc Dini, Jean-Marc André et Joël Deschamps</i>	

PRÉFACE

La passion des hommes pour le merveilleux est telle qu'ils sont prêts à lui sacrifier la raison déclare Napoléon dans le film d'Antoine de Caune *Monsieur N*¹. Cela renvoie à une anecdote bien réelle rapportée par Las Cases dans Le mémorial de Sainte-Hélène² : *On était venu lui démontrer sérieusement que lui, Napoléon, était le descendant linéal (du) masque de fer et par conséquent l'héritier légitime de Louis XIII. Belle revanche pour « l'usurpateur ».*

Une autre énigme célèbre de l'histoire est celle de la survie du fils de Louis XVI emprisonné durant la révolution. Cette fable a été colportée durant près de 200 ans, un descendant putatif de Louis XVII – Charles Naundorff - ayant même présidé une des commémorations officielles de 1987 en l'honneur du millénaire des Capétiens ! Mais la science a eu le dernier mot et grâce aux analyses d'ADN, on sait maintenant que le petit dauphin est réellement mort à la prison du Temple. Les méthodes d'identification par l'ADN ont aussi démasqué l'imposture d'Anna Anderson qui durant sa vie s'était fait passer pour la grande duchesse Anastasia, censée avoir échappé au massacre d'Ekaterinbourg.

Tout aussi passionnantes sont les énigmes de l'aéronautique présentées dans ce recueil, dont la résolution doit également beaucoup aux avancées scientifiques de ces dernières décennies

La disparition de Nungesser et Coli, à bord de l'Oiseau blanc est considérée comme l'un des plus grands mystères de l'histoire de l'aviation. Bernard Decré nous raconte son enquête ayant abouti en 2015 à la reconnaissance officielle de la thèse de l'amerrissage près de Saint-Pierre et Miquelon.

Quittons l'Atlantique nord pour l'océan indien où le 8 mars 2014 un Boeing 777 fut porté disparu avec 239 personnes à bord. Jean-Marc Garot nous présente les travaux de l'équipe CAPTIO qui apportent une belle contribution à la résolution de l'énigme du vol MH370 de la Malaysia Airline en révélant un probable amerrissage forcé.

Revenons dans l'hémisphère nord, dans les neiges de l'inlandsis du Groenland, où le 30 septembre 2017 un des réacteurs de l'Airbus A380 du vol AF66 Paris-Los Angeles s'est désintégré en vol. Quinze jours après l'incident, la neige avait déjà presque recouvert tous les débris. Pour les besoins de l'enquête il était nécessaire de retrouver au moins un fragment du moteur afin de comprendre les causes de rupture. Hubert Cantalloube conte l'aventure qui a permis de retrouver au terme de deux ans d'enquête, grâce au radar aéroporté de l'ONERA, un morceau de moyeu enfoui sous quatre mètres de glace.

Partons ensuite pour le Chili avec Luc Dini, président de la Commission technique (CT) SIGMA2 de la 3AF. Cette commission mène depuis 2013 des travaux sur les *Phénomènes aérospatiaux non identifiés* (PAN). Le 11 novembre 2014, un hélicoptère Cougar de la marine chilienne observe un PAN. Au terme d'un remarquable travail, les membres de la commission démontrent que l'OVNI en question était en fait un Airbus A 340. D'autres cas de PANs ont été invalidés par la CT SIGMA2. Ils sont présentés dans un second article.

Mais il est permis de rêver et l'hypothèse de la pluralité des mondes est admise depuis longtemps comme l'a évoqué Jacques Arnould pour la 3AF³. citant les propos d'Etienne Tempier, évêque de Paris, qui en 1277 condamne ceux qui défendent la thèse aristotélicienne de l'unicité du monde : *Aucun esprit humain ne peut prétendre, empêcher Dieu de créer d'autres mondes que le nôtre, si telle est la volonté divine.*

Bruno Chanetz,
président du Haut conseil scientifique

1 - *Monsieur N* (2003) - réalisateur Antoine de Caunes, scénario : René Manzor

2 - *Vendredi 12 juillet 1816 – Le Mémorial de Sainte-Hélène*

3 - *Qui va là ? Pourquoi il faut prendre au sérieux la question extraterrestre – Lettre 3AF n°27 sep-oct 2017*

HISTOIRE

L'Oiseau blanc... premier aéronef à avoir traversé l'Atlantique d'est en ouest les 8 et 9 Mai 1927

Par Bernard Decré, Président de l'Association La Recherche de l'Oiseau Blanc, Membre de la Commission 3AF Histoire.

Nous sommes en 1927, plus exactement le 8 mai 1927, au Bourget. L'As de l'aviation Charles Nungesser, troisième As après Fonck et Guynemer, se prépare à une grande première avec son camarade François Coli, ils vont tenter la première liaison Paris-New York non-stop !

A cet effet, Nungesser avait convaincu le constructeur d'avions Levasseur et le motoriste Lorraine Dietrich de réaliser un biplan pouvant accueillir dans ses réservoirs 4.000 litres d'essence, correspondant à environ 40 heures de vol !

Cet avion, le PL8, s'inspire du PL4 en service dans la Marine, dont il reprend le moteur 12 Eb de 450 ch et aussi du PL7, dont le prototype a volé en 1926.

La particularité de ces avions, destinés à la Marine, est d'avoir une capacité d'amerrissage et de flottabilité en cas de problème technique. Le PL 4 a même un dispositif de largage du train avant, pour faciliter la manœuvre. Cette disposition sera reprise sur « l'Oiseau blanc ».

Un prix de 25 000\$ or, dénommé Prix Orteig du nom d'un célèbre hôtelier de New York, était la prime offerte au premier aéronef réussissant à faire New York-Paris ou Paris-New York...mais nos amis ne s'y sont pas immédiatement inscrits. Plusieurs équipages s'inscrivirent, surtout partant de New York, bénéficiant des vents favorables Ouest Est.

Nungesser était très connu aux États-Unis où il fit une tournée d'une cinquantaine de simulations de combat avec un vrai cirque aérien de quatre à cinq avions, des tirs de balles à blanc, des fumigènes, des figures d'acrobaties à couper le souffle. Ces démonstrations lui valurent une fabuleuse réputation. Il tourna également son propre rôle dans un grand film : The Sky Raider qui obtint un beau succès. Il a épousé à Paris une belle et riche américaine Consuelo Hatmaker, la fille du secrétaire particulier de Vanderbilt le magnat de l'acier.

Elle demandera à son mari de venir s'installer aux États-Unis et d'y accepter la nationalité américaine qu'on lui offrait ! Il déclina cette offre car sa maman

vivait seule boulevard de la République à Paris et son bon sens le fit revenir en France. On lui proposa aussi de copiloter un avion américain, offre qu'il déclina. Après des années d'aventure, de meetings et de vie fastueuse, mais coûteuse, avec son hôtel particulier en bas des Champs-Élysées, sa Rolls et tout le train de vie allant autour, devant « réduire la voilure », et penser à autre chose (il avait bien créé une école de pilotage à Orly, mais elle ne fit qu'aggraver ses finances), il fut alors attentif à tout exploit aérien à monter. Le prix Orteig, la première liaison Paris-New York le tentant, il commença à faire la tournée des constructeurs français capables de lui prêter une machine en mesure de réussir ce grand saut sur l'Atlantique.

A l'époque, des grands raids ont eu lieu, mais au-dessus de la terre ; en cas de panne, on pouvait toujours se poser sans grand risque. Des distances de plus de 4000 km furent franchies, des records ! Mais au-dessus de l'eau une panne pouvait être fatale ! Les moteurs pouvant tourner une quarantaine d'heures existaient, les structures, fuselage, ailes, existaient ; mais le premier risque résidait dans le décollage ! En effet, il fallait au moins 4000 litres d'essence pour cet aéronef qui allait peser plus de cinq tonnes, et qui serait supporté par un train d'atterrissage (ou de décollage) qui en outre subirait les petits défauts de la piste à « grande vitesse ». Le premier des risques serait donc la résistance du train et des pneus au décollage.

Certains concurrents en firent les frais et hélas plusieurs pilotes y laissèrent leur vie. Charles Nungesser conscient de cette première difficulté se refusa à effectuer des essais à charge maximale ; le véritable décollage suffirait. Comme le disait Nungesser : « si nous réussissons à décoller, à passer La Morée (le petit ruisseau en bout de piste au Bourget), nous réussirons notre tentative ! »

Le 8 mai 1927 à 5 heures du matin au Bourget, on sortit du hangar le biplan l'Oiseau blanc, tout blanc, les cocardes bleu blanc rouge sur les ailes et les couleurs nationales sur le gouvernail, comme on le faisait pour les avions militaires. Pour agrémenter le tout, Nungesser avait souhaité faire peindre son célèbre insigne de 14-18 : un cœur noir, avec un crane, deux tibia et un cercueil. Un peu

HISTOIRE

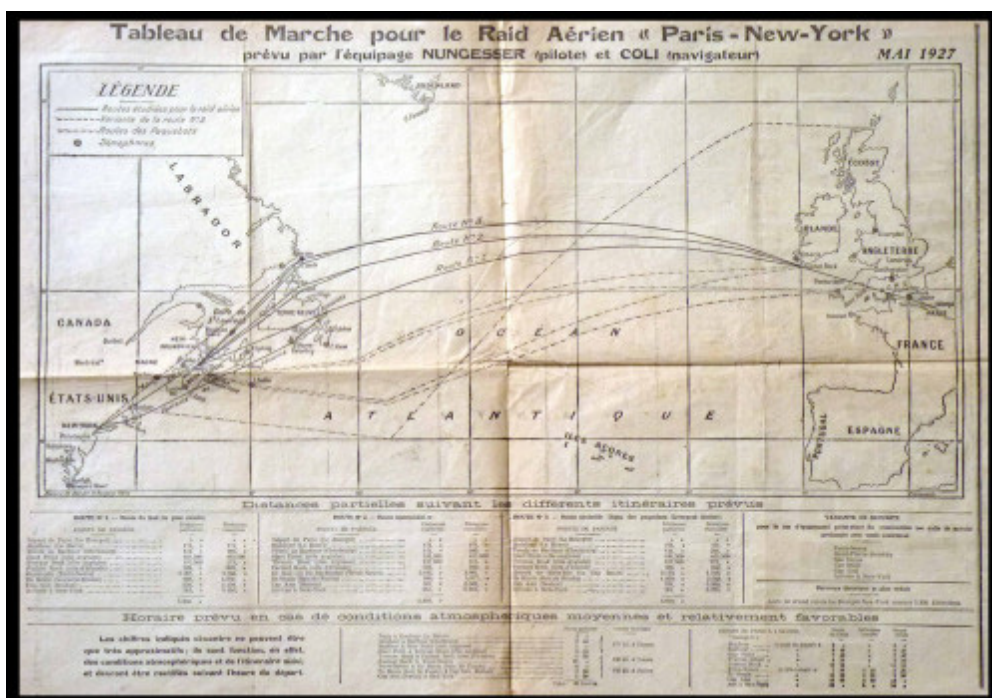
L'OISEAU BLANC... PREMIER AÉRONEF À AVOIR TRAVERSÉ L'ATLANTIQUE D'EST EN OUEST LES 8 ET 9 MAI 1927

provocateur, il avait adopté cet insigne personnel, après un coup d'éclat – la capture, alors qu'il était hussard, d'une voiture Mors de l'état-major allemand – On le surnomma « le hussard de la Mort », qu'il transforma vite en « hussard de la mort » avec l'insigne adapté ! François Coli avait dû renoncer à son propre projet de traversée et fut contacté par Charles Nungesser qui lui proposa d'être son navigateur. Coli était aussi un excellent pilote.

L'équipage avait peu dormi sur leurs lits de camp dans le hangar près de leur avion. Malgré tout, une bonne centaine de personnes étaient là. Beaucoup sortaient de souper à Paris et étaient même venues en tenue de soirée ; des personnalités hommes politiques et artistes étaient là aussi, ayant été prévenues du départ imminent. Il faisait frais, à la limite d'un grain menaçant...au loin des éclairs dans l'Est. Charles Nungesser et François Coli avaient revêtu leurs combinaisons jaunes et leurs casques en cuir. Le moteur Lorraine Dietrich se mit à tourner vers 5h10. À 5h20 ils décidèrent de partir, l'Oiseau blanc mis les gaz pour ce sprint décisif. Il roula plus de 45 secondes, puis après un ou deux rebonds, il décolla, le train de décollage avait tenu. Nungesser fit grimper lentement l'Oiseau blanc, puis largua son train d'atterrissage près de huit à dix minutes après sa mise en route. Il tomba dans un champ près du Bourget et fut récupéré. Il est aujourd'hui au musée de l'Air et de l'Espace.

L'Oiseau Blanc rejoignit lentement les boucles de la Seine, sa vitesse devait être de 130 à 140 km/h, encore très lourd, mais tout allait bien. Son altitude : environ 3 à 400m. Il était accompagné par deux autres appareils : l'un du constructeur Levasseur, l'autre affrété par des journalistes. Le ciel était encombré de masses nuageuses. L'Oiseau blanc quitta la France au niveau de Fécamp, le moteur tournait à merveille, déjà l'avion s'était allégé, et il se dirigeait vers l'Angleterre entre deux bancs de brume. Officiellement les autorités françaises ne les virent plus après Fécamp : ils avaient déjà « disparus ». Une patrouille de l'aéronavale basée à Cherbourg devait les retrouver, mais ils ne se rencontrèrent pas. Par contre un marin de faction dans le kiosque d'un sous-marin britannique, le H50, qui était au mouillage à l'île de White, aperçu l'appareil vers 11 heures, et averti ses chefs. L'Oiseau blanc se dirigeait vers le nord-ouest. D'autres témoins, dignes de foi, le virent passer en Écosse et sur l'Irlande : tout allait bien.

L'Oiseau blanc attaqua alors sa grande traversée, le temps était clément, le vent d'Est était favorable à sa marche à 170-180 km/h, ils volaient entre 500 et 900 m, dans de bonnes conditions, vent arrière. Plus haut il faisait trop froid et tout allait bien à cette altitude. Coli, le navigateur, était plongé sur ses cartes ; leur hypothèse étant toujours de viser l'entrée est du Saint-Laurent, et le grand phare de Belle Isle facilement reconnaissable.



Trajet de l'Oiseau blanc [1]

L'OISEAU BLANC... PREMIER AÉRONEF À AVOIR TRAVERSÉ L'ATLANTIQUE D'EST EN OUEST LES 8 ET 9 MAI 1927

Au départ du Bourget l'équipage savait qu'une dépression était établie sur Terre-Neuve, mais ils pensaient qu'elle serait en partie moins active et qu'ils « verraient sur place ». Avant cette confrontation météorologique, la nuit était déjà tombée ; ils survolèrent un paquebot de croisière français le Paris qui faisait route vers New York, à quelques centaines de kilomètres à l'est de Terre-Neuve. Les passagers avertis virent une petite lumière les doubler dans la nuit : l'Oiseau blanc se dirigeait vers l'embouchure nord-est du Saint-Laurent.

En s'approchant du nord de Terre-Neuve, le mauvais temps avec ses nuages épais, la pluie, la grêle, a, peut-être empêché l'Oiseau blanc de s'approcher du phare de Belle Isle, à l'embouchure est du Saint-Laurent, où le relief frise les huit cents mètres.

Ils auraient décidé alors de changer leur route, et de passer par le sud. Pour cela ils auraient longé la côte est de Terre-Neuve, conscients de la route et des heures de navigation, dans du très mauvais temps, et n'autorisant plus leur arrivée à New York faute d'essence. Ils avaient dû voler au raz de l'eau, à leur droite les côtes de Terre-Neuve, en-dessous le blanc de l'écume sur les brisants était bien visible. Leur nouvel objectif : un amerrissage à Saint-Pierre-et-Miquelon, îles Françaises, et tout de même la satisfaction d'avoir réussi cette première traversée est-ouest de l'Atlantique : une grande première !

Ils auraient été vus à l'est de Terre-Neuve, à Harbour Grace, vers 9h locale : des témoins d'origine diverse déposèrent devant le juge et notamment la brave campagnarde qui décrivit un avion comme deux mouettes l'une au-dessus de l'autre (une certaine définition du biplan), Tous décrivirent un avion blanc, sans train d'atterrissage. Les aviateurs auraient décidé de descendre le long de la côte est, échappant aux trop mauvais nuages de cette importante perturbation et trouvant entre des nuages plus calmes leur route vers la pointe sud de Terre-Neuve : vers le phare de Cap Race. L'Oiseau blanc survola une goélette la Belle Pline ; il lui tourna autour pour bien se faire reconnaître et fit de même avec le navire l'Armistice. L'Oiseau blanc n'avait pas de radio au départ, trop lourd !

Un peu plus loin, ils virent sans doute un navire militaire gris, de 70 m environ, le Modoc, un garde côte américain de l'US Patrol, surveillant la route des icebergs.

Et puis, on ne les vit jamais plus...



Le garde-côte américain Modoc



Morceau d'avion blanc trouvé au large de Portland (Maine) en 1947 ? [3]

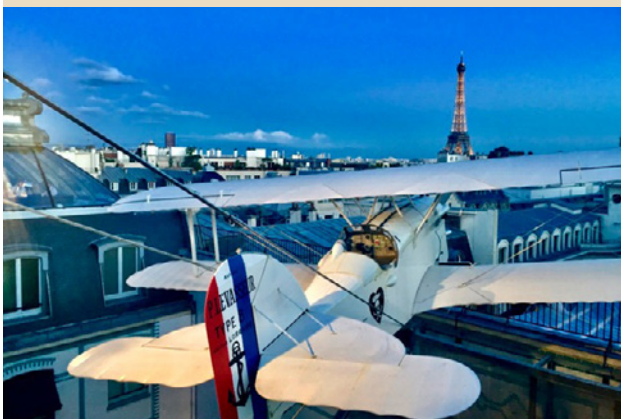
Nos 15 ans de recherche ... et l'aventure continue

Ce n'est qu'après ces quinze années d'enquête que nous nous permettons de vous livrer les résultats de ces recherches faites par un simple passionné de navigation. Roland Nungesser, neveu de Charles, avait demandé au ministère des Transports une enquête qui fut menée par l'ingénieur général Meunier de la DGAC ; son rapport m'aida énormément. Enfin, La FAI (Fédération aéronautique internationale), dont le siège est à Lausanne, après lecture de notre dossier et après m'avoir entendu, m'a remis le prestigieux trophée Tissandier, lors de leurs 109èmes assises à Rotterdam devant les représentants de 35 pays Aéronautiques. Nous venons également de faire changer les plaques de rue Nungesser et Coli, dans 77 villes de France. Il n'y aura plus marqué « perdus en mer », mais « Traversée de l'Atlantique 8 et 9 mai 1927 ». Avenue Kléber, à 300 mètres de l'Arc de triomphe, et de la tombe du Soldat inconnu, l'Oiseau blanc, reconstitué au 8/10, est sur le roof-top du palace Le Peninsula, grâce à un très

HISTOIRE

L'OISEAU BLANC... PREMIER AÉRONEF À AVOIR TRAVERSÉ L'ATLANTIQUE D'EST EN OUEST LES 8 ET 9 MAI 1927

grand passionné d'aviation vivant à Hong Kong et qui suivait nos travaux. Il a décidé de nommer son extraordinaire restaurant l'Oiseau blanc en hommage à nos deux aviateurs méconnus. Ce grand passionné : the Honorable Sir Michael Kaddorie a fait là un beau cadeau à l'histoire de l'aviation, à Paris, à notre Pays !



Réplique de l'Oiseau blanc sur le roof-top du Peninsula

Nous avons eu une très large diffusion de nos recherches grâce entre autres aux quatre sujets de 30 minutes diffusés lors des rendez-vous de midi trente le dimanche, animés par Laurent Delahousse sur France 2 et à la journaliste d'investigation Marie-Pierre Farkas et son cameraman Jean-Marie Lequertier. Et aussi sur TV5 Monde, LCI, ARTE, TF1, FR3, etc. Nous avons avec notre ami Vincent Mongaillard, journaliste au Parisien, essayé de résumer ces recherches dans un livre publié chez Arthaud Flammarion : L'Oiseau blanc, l'enquête vérité.



Notre équipe de recherche à Saint-Pierre et Miquelon

Nos recherches ne sont pas totalement terminées ; il nous faut aller fouiller une petite zone au large de Portland Maine, près de Jewells et Cliff Islands, ou un pêcheur de homards Mr Mac Vane aurait relevé dans les années 60, dans sa ligne de casiers à homards, des morceaux d'avion blanc avec des rivets en cm et non en

inch ! J'ai eu la chance de le rencontrer, ainsi que son épouse, en 2015. Ils sont maintenant tous les deux au ciel. Mais ils ont eu le temps de me donner une carte marine avec la dernière zone à fouiller.

Comme quoi, quand on est passionné et têtù, on peut avancer et rectifier cette très belle page sur nos héros de l'aviation.

Pour tout cela il m'a fallu constituer une petite équipe : Pierre Le Normand, un grand marin, également pilote, et sachant tout faire, nos ingénieurs Hervé Blanchet et Sébastien Goguet spécialistes en sonar et magnéto-mètre. Trouver des partenaires efficaces : je tiens spécialement à remercier Jean-Paul Herteman, alors président du groupe Safran, les autorités de Saint-Pierre-et-Miquelon, la ville de Boulogne-Billancourt, l'Aéroclub de France, nos fidèles adhérents à l'Association La recherche de l'Oiseau blanc »

Mais cela n'est pas tout à fait terminé : je me dois de trouver environ 150 000 € pour faire cette dernière expédition, Trois semaines sur place, louer une vedette bien équipée, avec deux marins, deux spécialistes en ROV sous-marin avec leurs matériels pour fouiller une zone d'un mille de long, un demi mille de large et 35 m de fonds.

Références bibliographiques :

- [1] Clément-Pascal Meunier, ingénieur général de l'aviation civile *Nungesser et Coli disparaissent à bord de l'oiseau blanc, mai 1927*, rapport DGAC de septembre 1984.
- [2] Decré Bernard et Mongaillard Vincent *L'Oiseau blanc, l'enquête vérité, Nungesser et Coli, premiers vainqueurs de l'Atlantique*, édition ARTAUD 2014.
- [3] Rowe Snow Edward *Stores and shipwrecks of New England*



1927-2017 : ANNIVERSAIRE DES 90 ANS DE LA LIAISON AÉRIENNE NEW YORK- PARIS ET AUSSI DE LA PREMIÈRE LIAISON PARIS - CONTINENT NORD AMÉRICAIN ...

par Bernard Decré, Pilote et enquêteur amateur, Membre de la Commission 3AF Histoire

Le 21 mai 1927, vers 10 heures du soir, arrivait au Bourget après 33 heures de vol, en provenance de New York, un petit avion monomoteur « Le Spirit of St Louis ». Son pilote, Charles Lindbergh, devenait un héros planétaire ! Douze jours avant Charles Nungesser et François Coli avaient décollé du Bourget à bord de l'Oiseau Blanc, pour tenter de rallier New York....Puis un grand silence se fit....

Depuis 8 ans, passionné d'aviation, pilote privé, fondateur du Tour de France à la Voile, Aventurier (Raid Bordeaux Shanghai) ..., je me suis lancé à leur recherche, relisant les rapports officiels, découvrant de nouveaux documents, interrogeant les Anciens, fouillant des tonnes d'archives officielles en France, au Canada, et aux USA.

En septembre 2015, la Fédération Aéronautique Internationale (FAI), après avoir analysé toutes les pièces d'un dossier d'environ 290 pages, m'a remis, lors de ses 109^{èmes} Assises à Rotterdam, devant les représentants de 35 nations, le prestigieux Prix Tissandier, pour la qualité et les résultats de notre enquête.

De cette enquête acharnée, il ressort que les deux aviateurs français, l'As de 14-18 Charles Nungesser, et son navigateur François Coli, ont bien traversé les premiers l'Atlantique d'Est en Ouest, reliant Paris-Le Bourget au Continent Nord Américain, à Saint Pierre et Miquelon, où, manquant d'essence, victimes du brouillard... et de la prohibition, ils ont effectué un mauvais amerrissage qui leur fut fatal. Ils ont appelé au secours...en vain !...On aurait étouffé cet exploit, essayé de faire disparaître les preuves ..

En 2017, nous fêtons donc spécialement les deux Charles : Lindbergh, et Nungesser !

L'Histoire de l'Aviation se trouve enrichie par les résultats de cette enquête qui remet les deux pilotes français à leur juste place : celle de héros.

Erik Lindbergh, le petit fils de Charles Lindbergh, passionné par ces recherches, est déjà venu en juin 2013 déposer une gerbe de fleurs blanches devant le Port de Saint Pierre, comme l'aurait très certainement fait son grand père s'il avait su....

La Ville de Paris va modifier les plaques de rue Nungesser et Coli.

Déjà, le nouvel avion de ligne ATR d'Air Saint Pierre porte le nom de « L'Oiseau Blanc », l'Aéroport de Valenciennes s'appelle Aéroport Charles Nungesser. La promotion d'élèves de la 54^e promotion de l'EMIA à Saint Cyr a choisi comme parrain : « Lieutenant Charles Nungesser » ... Le fabuleux restaurant « L'Oiseau Blanc » à l'hôtel Peninsula Paris, avenue Kléber, sur le thème de nos héros, est devenu un vrai lieu d'histoire, et ce n'est pas fini...Nous disposons de 95% de ce fabuleux puzzle, mais nous devons trouver les toutes dernières pièces en 2017-18 !

Enfin, l'idée d'un Musée Nungesser et Coli à Saint-Pierre et Miquelon est séduisante.

Sachant que le Groupe SAFRAN a sponsorisé en grande partie nos recherches de l'épave de l'Oiseau blanc au large de Saint-Pierre et Miquelon, nous disposons d'un tas d'informations (cartes des zones sondées, archives américaines et françaises de l'époque, photographies prises lors de nos campagnes de recherche, etc...) qui pourraient venir garnir l'intérieur de ce Musée, qui pourrait sans doute naître dans l'actuelle Aérogare de Saint-Pierre et Miquelon.

Par ailleurs, je m'active pour que ce bel Aéroport très bien équipé, avec une piste de 1800 mètres de long, puisse porter les noms de Nungesser et Coli, ce qui ferait un formidable drapeau des Ailes Françaises sur le Continent Nord-américain. S'appelant actuellement « Pointe Blanche », vous conviendrez alors que nous ne débaptiserons personne.

Enfin, j'incite les jets privés qui font leur traversée de l'Atlantique Nord de faire une escale à Saint-Pierre : nous pourrions leur donner alors la qualification « IFR-Homard »... ■



POINT DE VUE

L'ÉNIGME DU VOL MH370

DE LA MALAYSIA AIRLINES

par Jean-Marc Garot, Membre 3AF

Le 8 mars 2014, le vol international régulier MH370 de la compagnie aérienne Malaysia Airlines reliant Kuala Lumpur à Pékin est porté disparu. L'appareil, un Boeing 777-200ER, transportait 239 personnes, équipage compris. Le 15 mars 2015, les autorités malaisiennes publient un rapport intérimaire. Sur cette base, l'Australian Transport Safety Bureau (ATSB) puis la société américaine Ocean Infinity (spécialisée dans les recherches sous-marines¹) mènent trois campagnes de recherches qui s'avèreront infructueuses. Le 30 juillet 2018, les autorités malaisiennes publient un rapport dit final : <http://mh370.mot.gov.my/MH370SafetyInvestigationReport.pdf>

Récemment le nouveau gouvernement malaisien promet aux familles des passagers qu'il poursuivrait la recherche de la vérité, sans pour autant parler de reprendre des recherches. De plus la Gendarmerie des Transports française fait savoir qu'elle poursuit ses investigations sous l'autorité d'un juge d'instruction, dans le cadre d'une enquête judiciaire obtenue par Ghyslain Wattrélos dont l'épouse et deux de ses enfants étaient parmi les passagers.

Pourquoi et comment je m'intéresse à cette disparition ?

Depuis le début du mystère du MH370, je me suis intéressé à ce qui semble incompréhensible : oui, des avions peuvent disparaître. Je constate que l'Organisation de l'Aviation Civile Internationale (OACI) a fait de modestes recommandations et qu'heureusement, beaucoup de compagnies aériennes, dont Air France suite à la disparition du AF 447 entre Rio et Paris, améliorent le suivi de leurs avions. Elles utilisent actuellement des moyens développés par l'industrie et profiteront certainement de l'essor de l'internet mobile large bande par satellites. Mais actuellement des avions peuvent encore disparaître et cela est inadmissible.

Ensuite, j'ai écrit, avec Michel Delarche, un livre " *Le détournement du MH370* ", puis Jean-Luc Marchand et Philippe Gasser nous ont rejoints. Notre équipe a produit et rendu publique une étude à laquelle nous avons donné le nom CAPTIO : <http://mh370-captio.net/>

¹ <https://oceaninfinity.com/>

² Inmarsat est une compagnie de satellites internationaux, offrant des services globaux de mobiles. Elle fournit des services téléphones et données pour des utilisateurs du monde entier, via des terminaux ou des portables, qui communiquent avec les stations terrestres au moyen de 13 satellites géostationnaires de télécommunication : <https://www.inmarsat.com/>

³ Une vingtaine de pilotes qui depuis la disparition publient sur le net des analyses techniques très détaillées et qui ont acquis une certaine respectabilité sur le sujet.

Nos travaux se trouvent sur le site, ainsi qu'une vidéo explicative : https://www.youtube.com/watch?v=Jd_eJIINBw&sns=em qui a dépassé le million de vues et, nouveauté, un document en français de Questions et Réponses : <http://mh370-captio.net/wp-content/uploads/Questions-Reponses-French.pdf>

L'originalité de notre démarche tient à deux aspects

Elle s'appuie d'une part sur les nombreuses informations, parfois inexploitées, des deux rapports officiels. En particulier : l'endroit où l'avion a disparu des radars civils (configuration particulière entre deux Flight Information Regions (FIR)), le moment du transfert de responsabilité, l'utilisation de voies aériennes (trajectoire révélée à partir des informations des radars primaires) qui s'avère être un très bon moyen de cacher un avion au sein du trafic environnant), et la légère surconsommation (~150 kg/h) du moteur droit par rapport au gauche.

D'autre part elle tient compte des lois de la mécanique du vol, du pilotage, des règles de la circulation aérienne et des méthodes et outils de contrôle du trafic aérien civil et militaire.

Pourquoi les autres scénarios ne sont pas plausibles ?

Sortis d'imagination fertiles, des scénarios tels que celui vers Diego Garcia, ne sont pas cohérents avec les données d'Inmarsat². D'autres, très populaires auprès de certains journalistes, sont fondés sur la suspicion que les données ont été falsifiées ou ont été fabriquées de toutes pièces. Mais sans ces données intrinsèques aux communications spatiales comment peut-on bâtir une trajectoire ? Mettre en cause la crédibilité de la société Inmarsat nous semble faire preuve d'une méconnaissance du domaine. Les données brutes d'Inmarsat ont, par ailleurs, été publiées par un membre de l'Independant Group³.

Pour nous, toute trajectoire plausible du MH370 doit traverser 7 arcs et à chaque intersection les valeurs calculées de ces fameux BTO⁴ et BFO⁵ doivent correspondre aux données brutes enregistrées par Inmarsat.

Voir Figure 1 le timing (UTC) du MH370 avec la désignation des arcs correspondants : <https://www.atsb.gov.au/publications/2014/considerations-on-defining-the-search-area-mh370/>

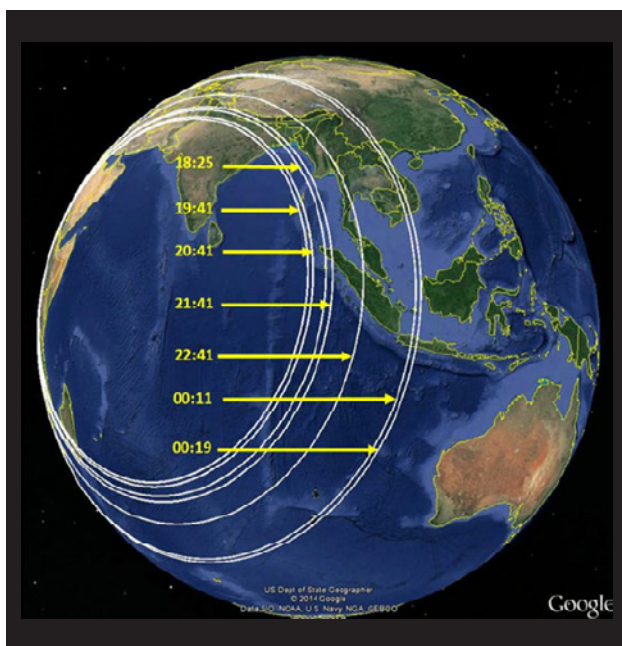


Figure 1. les 7 arcs devant être traversés par la trajectoire du MH370

L'Australian Transport Safety Bureau a fait une hypothèse surprenante : après sa disparition des radars militaires malaisiens, l'appareil n'aurait pas été piloté jusqu'au bout mais le vol se serait poursuivi sous pilotage automatique. Cette hypothèse a conduit trois campagnes de recherches à l'extrémité de trajectoires quasi-rectilignes vers le sud, sans résultat.

Des explications ont été imaginées, a posteriori, pour justifier cette hypothèse ad hoc. Par exemple : l'équipage aurait, pour une raison inconnue, été soudainement frappé d'incapacité après 1h40 de pilotage maîtrisé ou, encore, le commandant de bord aurait voulu se suicider.

On remarquera tout de même, qu'après et malgré sa recherche infructueuse, Ocean Infinity, cette société

surtout intéressée par les recherches sous-marines⁶, a obtenu un nouveau contrat avec la US Navy. D'autre part le Sénat Australien – sans remettre en cause l'hypothèse – s'est ému du coût des recherches infructueuses de l'ATSB, que presque toutes les personnes qui ont étudié sérieusement la disparition du MH370 ainsi que le dernier rapport dit final excluent un accident ou un incident et que ce rapport exonère le commandant de bord et le copilote.

Pour nous aucune preuve claire ne permet d'attribuer le détournement au(x) pilote(s), qui auraient pu être contraints d'agir contre leur volonté, mais nous n'avons trouvé aucune preuve décisive de leur innocence non plus. Si, comme le rapport le dit, "a third party is not excluded", il serait logique de penser à un détournement. Supposant que des "Personnes aux Commandes" décidées aient maîtrisé l'avion, notre étude CAPTIO valide une trajectoire plausible grâce aux nombreuses simulations réalisées.

La trajectoire CAPTIO est fondée sur 7 hypothèses

1. l'avion a été piloté du début à la fin par des Personnes aux Commandes ;
2. le pilotage a respecté la structure de l'espace aérien ainsi que les règles de pilotage d'un vol ;
3. l'appareil n'a subi aucun dommage, le courant électrique a été volontairement coupé puis a été rétabli environ une heure après l'écart de l'avion de son plan de vol vers Pékin ;
4. les Personnes aux Commandes voulaient atterrir en toute sécurité sur une piste de longueur suffisante sans maltraiter les passagers et sans volonté de faire disparaître l'avion ;
5. la trajectoire a été dérivée de la capacité des automatismes de l'avion à continuellement contrôler la vitesse à partir du mode de vol le plus adéquat sélectionné. Elle a également été simulée de manière à éviter autant de couvertures radars que possible au sud de Sumatra ;
6. aucun ralentissement ni holding n'a été simulé, car le nombre d'options aurait été trop grand ;
7. en raison du faible nombre de débris trouvés, nous pensons qu'une tentative d'amerrissage est très probable, avec peut-être un écrasement final à basse vitesse.

La trajectoire devait respecter un mode de vol, qui avait été sélectionné dans le *Flight Management System (FMS)*, les contraintes imposées par la structure de l'espace aérien et les procédures de vol. Tout ceci a conduit à une trajectoire opérationnelle réaliste permettant de calculer des données satellitaires simulées, puis de les comparer

⁴ Le Burst Timing Offset (BTO) est une mesure du temps de parcours complet : station sol, satellite, avion (et retour)+ un biais du aux temps de traitement

⁵ Le Burst Frequency Offset (BFO) est une mesure de l'effet doppler qui permet de déterminer un ensemble d'attitudes (combinaison de la vitesse horizontale, la vitesse verticale et du cap) de l'avion.

⁶ Actuellement son bateau affrété le SEABED CONSTRUCTOR recherche l'épave d'un sous-marin argentin.

aux données réelles brutes mesurées par Inmarsat pour la valider. Le résultat est disponible à l'adresse suivante : <http://mh370-captio.net/wp-content/uploads/2018/01/MH370-PlausibleTrajectory-3.4.pdf>

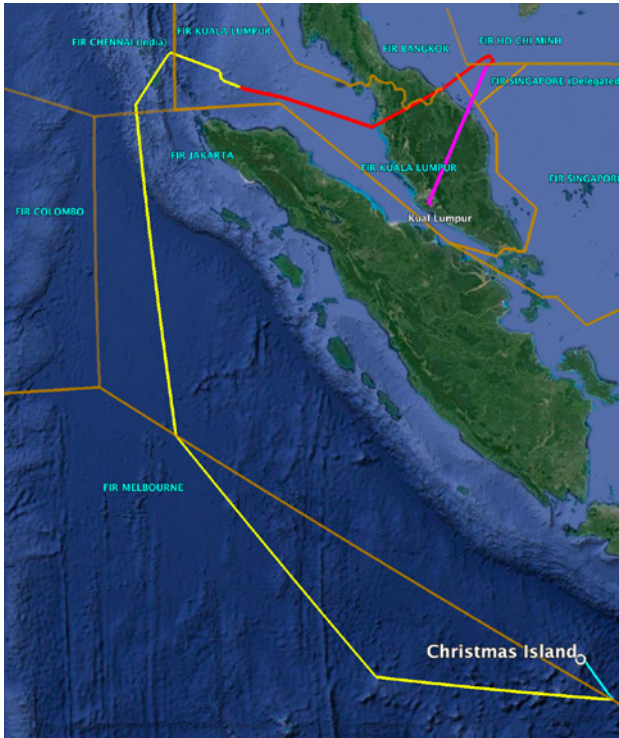


Figure 2. La trajectoire prévue et les 7 frontières de régions aéronautiques : un voyage de 2 670 miles marin

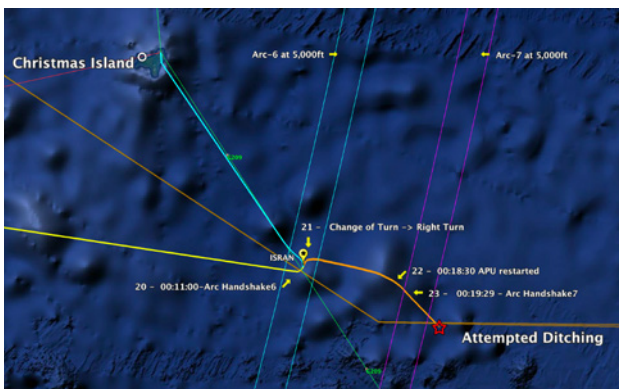


Figure 3. La fin de la trajectoire (12°2'32"S, 107°22'48"E) Profondeur de la mer : 5 000 mètres

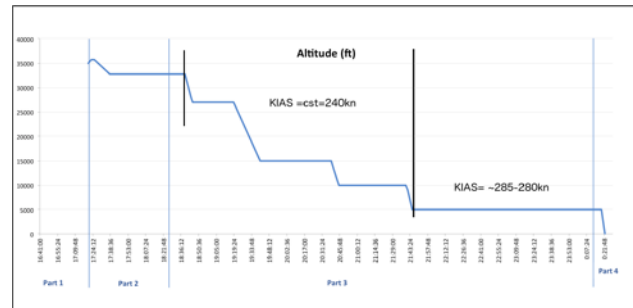


Figure 4. Les caractéristiques de la trajectoire CAPTIO en temps et en altitude

Pourquoi les Personnes aux Commandes n'ont-elles pas réussi à gérer le manque de carburant?

Premièrement, le moteur droit consommait légèrement plus (~150 kg/h) que celui de gauche, ce qui représente plus d'une tonne de carburant manquante à destination et seuls les pilotes étaient au courant. Deuxièmement, le constructeur de l'aéronef et le constructeur des moteurs ne fournissent aucune information sur les valeurs réelles de la consommation de carburant à basse altitude, par exemple à 5 000 pieds sur une aussi longue distance. Le FMS lui-même ne fournit pas de prévision fiable à cette altitude, ce que nous avons vérifié dans nos simulations. Nous avons constaté des estimations de fuel à destination qui évoluent rapidement vers la toute fin du vol, laissant peu de temps à un équipage pour réagir.

Les calculs de dérive des débris ont été refaits par CAPTIO et aboutissent à La Réunion

Le calcul de la dérive des débris commence au point d'amerrissage et se finit en août 2015. Il tient compte des données météorologiques réelles telles que les dépressions tropicales rencontrées et surtout de l'influence de l'ouragan Gillian. Il ne repose pas sur des statistiques de rétro-dérive. Le modèle de CSIRO a été utilisé car c'est le plus réaliste puisque élaboré à partir d'une réplique du flaperon retrouvé à la réunion (voir rapport CSIRO "The search for MH370 and ocean surface drift - Part II", EP177204 dated 3 October 2017). Un rapport spécifique a été produit sur ce sujet : www.mh370-captio.net

⁸ a commentary <<https://goo.gl/pGw854>> on the Trump administration's upcoming Missile Defense Review - "The US | Russia. We Need to Talk About That."

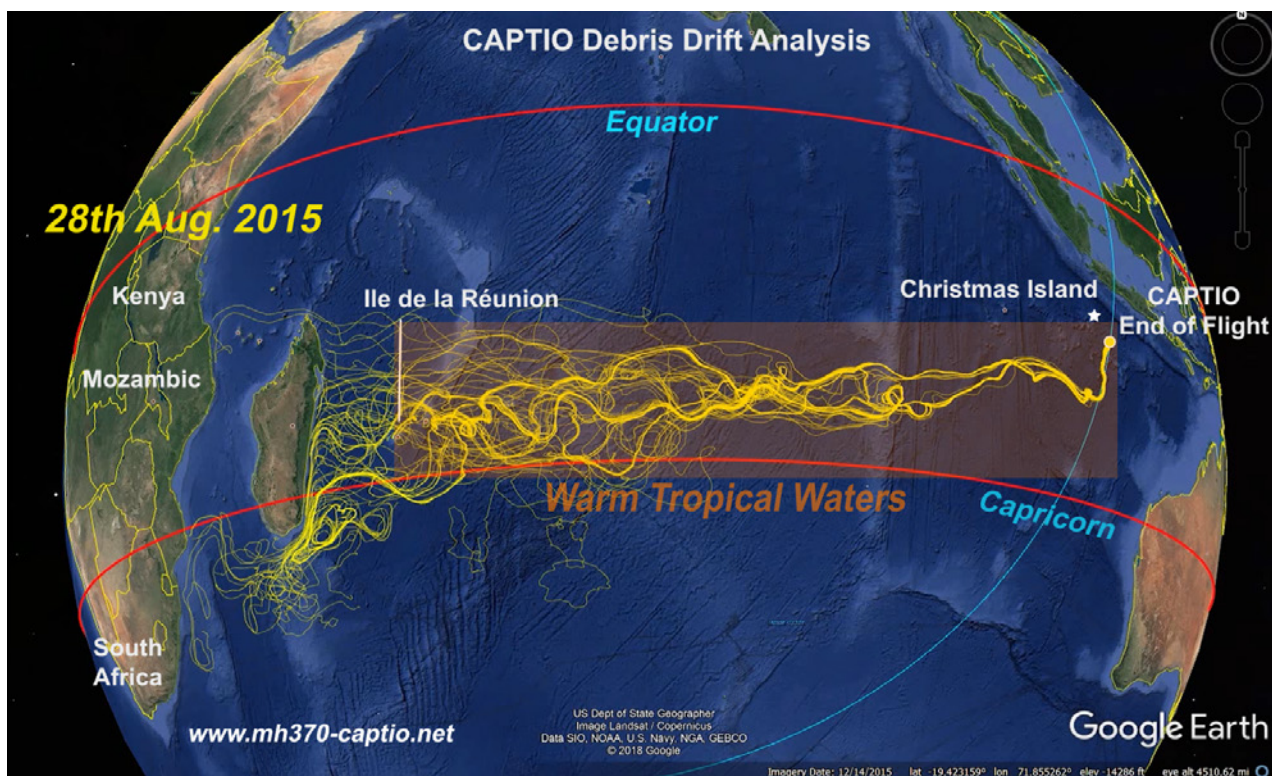


Figure 5. Simulation de la dérive des débris par CAPTIO

L'ENQUÊTE FRANÇAISE

Le juge d'instruction français a émis une commission rogatoire internationale demandant, aux pays susceptibles de stocker des données brutes, l'autorisation (et éventuellement leur assistance) de les saisir. Il semble que, pour l'instant, il s'agisse des données provenant d'Inmarsat.

En fait, celles-ci sont disponibles depuis longtemps : <http://mh370.radiantphysics.com/2017/06/12/the-unredacted-inmarsat-satellite-data-for-mh370/>

En réalité, ce sont les enregistrements des radars indonésiens qui seraient utiles et qui permettraient de valider notre trajectoire.

LE SCÉNARIO PLAUSIBLE DE CAPTIO

Une trajectoire très sophistiquée a été suivie dans le but de détourner le MH370 mais cette opération est allée à l'échec à cause d'une mauvaise estimation de l'autonomie de l'avion due à la surconsommation d'un moteur et à l'incertitude sur la consommation de carburant qu'entraîne un vol à basse altitude (effectué au sud de Sumatra). Ceci a contraint les Personnes aux Commandes à une tentative d'amerrissage forcé près de leur destination : Christmas Island

L'analyse de l'absence de revendication ou des motivations de ce détournement raté n'entre pas dans le cadre de notre travail.

Trouver cette épave est le seul but de notre équipe. Nous pensons que notre connaissance de la réalité opérationnelle des contrôles du trafic aérien civil et militaire nous a permis de voir des évidences d'une autre manière certainement plus ancrée dans la réalité.

Les coûts probables encourus de la recherche dans la zone proposée par CAPTIO seraient faibles par rapport aux recherches précédentes, car il s'agit d'une petite zone dans des eaux tropicales accessibles toute l'année non loin des côtes indonésiennes. ■



Diplômé de l'École Polytechnique et de l'ENAC, Jean-Marc Garot fut Chef du Centre d'Études de la Navigation Aérienne (1987-1995), puis Directeur du Centre Expérimental d'EUROCONTROL (1995-2005). Il fut aussi membre du conseil d'administration de la 3AF (2006-2014) et Secrétaire général de la 3AF (2006-2008).

LA FIN DU VOL MH370 : UN AMERRISSAGE FORCÉ, ÉTUDE DU FLAPERON HEURTANT LA SURFACE DE LA MER

par Argiris Kamoulakos, Jean-Luc Marchand, Philippe Gasser, Michel Delarche et Jean-Marc Garot, membres de l'équipe CAPTIO¹

INTRODUCTION

La Lettre 3AF n°33 a publié le 5 novembre 2018 *L'Énigme du vol MH370 de la Malaysia Airline*, un point de vue de Jean-Marc Garot, membre de la 3AF, fondé sur le travail de l'équipe CAPTIO.

Le scénario plausible de CAPTIO est le suivant : Une trajectoire très sophistiquée a été suivie dans le but de détourner le MH370 mais cette opération est allée à l'échec à cause d'une mauvaise estimation de l'autonomie de l'avion due à la surconsommation d'un moteur et à l'incertitude sur la consommation de carburant qu'entraîne un vol à basse altitude (effectué au sud de Sumatra). Ceci a contraint les personnes aux commandes à une tentative d'amerrissage forcé près leur destination : Christmas Island.

Une très petite quantité de débris a été récupérée sur les côtes de l'océan Indien, en Afrique, à l'île Maurice et à l'île de La Réunion. Seuls trois débris ont été formellement identifiés : le flaperon droit, la partie intérieure du volet droit extérieur et le bord arrière du volet extérieur gauche.

Le flaperon droit, récupéré à l'île de La Réunion, a été transmis à un laboratoire de la Délégation Générale à l'Armement (DGA) et y est encore du fait de l'enquête judiciaire française, toujours en cours. Par contre, une étude structurelle, faite par ce laboratoire, a été incorporée dans le rapport final d'investigation publié par les autorités malaisiennes en Juillet 2018 ([http://mh370.mot.gov.my/Appendix-1.12A-2-Item1Flaperon\(Main\).pdf](http://mh370.mot.gov.my/Appendix-1.12A-2-Item1Flaperon(Main).pdf)).

C'est le seul débris, parmi les trois identifiés, qui ait fait l'objet d'une analyse.

Argiris Kamoulakos a rejoint l'équipe CAPTIO. Argiris détient un doctorat en Ingénierie Aéronautique (spécialisé en structure) délivré par l'Imperial College de Londres. Il a une grande expertise de l'analyse numérique et de la simulation (prototypage virtuel) dans le domaine de l'aérospatiale et de la défense. Il est *Chartered Engineer*, *Fellow* de la *Royal Aeronautical Society (RAeS)* et *"Associate Fellow"* de l'*American Institute of Aeronautics and Astronautics (AIAA)*.

Le travail qu'il fait, comme les autres membres de l'équipe CAPTIO, est bénévole. Il est Directeur Scientifique chez ESI Group (<https://www.esi-group.com/fr>) et son travail personnel n'implique aucunement le groupe ESI. Par contre, il faut remercier le Dr Chaillou, administrateur et directeur général délégué, pour lui avoir donné accès gratuitement aux outils et aux moyens informatiques puissants du groupe ESI.

Cet article présente le résultat du travail unique fait par Argiris Kamoulakos : c'est-à-dire l'étude de l'amerrissage forcé à l'aide de simulations numériques dynamiques fondées sur les méthodes des Eléments Finis pour simuler les structures et de Smoothed Particle Hydrodynamics (SPH) pour simuler le flux de fluides. Il conclut que c'est un amerrissage forcé qui aurait pu entraîner la perte du bord de fuite du flaperon, tandis qu'une perte en vol du flaperon entraînerait très probablement d'autres types de dommages que ceux visibles sur le flaperon.

Les résultats de cette analyse convergent avec les conclusions du rapport d'enquête des experts de la DGA et donnent du crédit à l'hypothèse d'un amerrissage forcé lors des derniers instants de l'avion disparu.

Il est à noter que, pour conduire les travaux présentés dans le présent document, CAPTIO n'avait pas accès à la description constructeur des caractéristiques géométriques et matérielles du flaperon puisqu'elles appartiennent à la société BOEING. Les modèles sont fondés sur les données limitées mais disponibles dans le rapport de la DGA.

Toutefois, l'ensemble de ces données a été jugé raisonnablement représentatif des attributs essentiels du flaperon afin de produire une analyse convaincante de l'ordre de grandeur du problème en question.

Au delà du cas du MH370, ces travaux montrent les capacités des simulations d'aujourd'hui qui ont été, notamment, développées dans le cadre de programmes de recherches européens.

¹ <http://mh370-captio.net/>

LE FLAPERON

La photo, parmi tant d'autres, la plus parlante du flaperon tel que récupéré sur l'île de la Réunion ci-dessous dans la figure 1, au moment où il a été transféré pour enquête.



Fig. 1 Flaperon récupéré par les autorités françaises à l'île de La Réunion

La partie importante est la partie manquante du bord de fuite (mise en évidence par CAPTIO dans la figure 1). La conclusion du rapport français est qu'un processus d'amerrissage forcé est la cause la plus probable et non une séparation en vol suivie d'une chute libre avec impact sur la mer. Cependant, aucune simulation numérique n'avait été faite pour soutenir cette allégation.

STRATÉGIE DE MODÉLISATION DE L'AMERRISSAGE FORCÉ

L'amerrissage implique une interaction fluide-structure avec de grands changements de topologie du fluide à la suite de la création d'ondes lors de la pénétration de la structure dans l'eau. La façon la plus adéquate de simuler l'amerrissage forcé est de modéliser le fluide avec la méthode des particules afin de modéliser de grands changements topologiques ainsi que le mélange, c'est-à-dire des phénomènes qui sont très difficiles à modéliser par la méthode traditionnelle des Eléments Finis (FE). La méthode des particules qui a été utilisée pour modéliser le fluide (la mer) est la méthode Smoothed Particle Hydrodynamics (SPH) (« Tsunami induced Flooding Simulation and associated Fluid-Structure Interaction using the ESI Group VPS suite of codes. » <http://app.iahr2015.info/spreker/10985>). Voir la figure 2 pour les concepts de base.

Afin de choisir le pas de discrétisation appropriée du domaine des fluides pour l'amerrissage forcé, une étude systématique de l'indice de référence Von-Karman Wedge a été effectuée (benchmark). Le dimensionnement du problème est présenté dans la figure 3 ci-dessous correspondant à un coin infini de 120 degrés heurtant verticalement un domaine semi-infini de fluide.

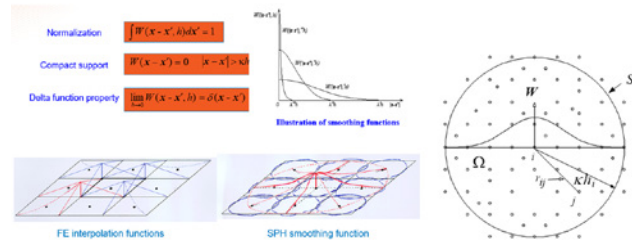


Fig. 2 Principes des idéalizations SPH par rapport aux FE

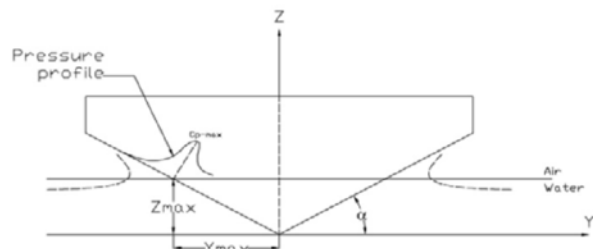


Fig. 3 Définition de la couverture Von-Karman

Le choix de 120 degrés implique le choix d'un angle de 30 degrés de la forme du coin externe par rapport à l'eau, correspondant à l'hypothèse d'un flaperon incliné à 30 degrés de sa position neutre.

Le problème est essentiellement 2D (sur les axes Y et Z) car la troisième dimension (axe X) qui part à l'infini est auto-similaire, d'où le problème correspond à la classe de «déformations planes» problèmes, qui est zéro déplacement en X.

Les simulations ont été effectuées à l'aide du code dynamique transitoire explicite VPS (PAMCRASH) du groupe ESI (<https://www.esi-group.com/fr/pam-crash>) et en utilisant l'option 2D du modèle SPH. La modélisation du matériau « eau » nécessite une équation d'état appropriée (en anglais Equation Of State EOS). Traditionnellement une EOS polynomiale est utilisée pour des impacts dans l'eau mais parce que, dans le cas d'un amerrissage forcé (pour les vitesses qui nous intéressent), la compressibilité de l'eau est très faible, il est plus efficace d'adopter le Murnahan-Tait EOS (voir ci-dessous),

$$p = p_0 + B \cdot ((\rho / \rho_0)^\gamma - 1)$$

Ceci permet des intervalles temporels relativement grands grâce à l'utilisation d'une valeur judicieuse de la vitesse du son (d'un ordre 10 fois supérieur à la vitesse maximale prévue de l'eau, induite par les éclaboussures).

Le coin a été analysé pendant la pénétration d'une surface d'eau parfaitement plane à une vitesse verticale constante donnée (10 m/sec). Les résultats caractéristiques obtenus pour le champ vectoriel d'écoulement

SCIENCES ET TECHNIQUES AEROSPATIALES

LA FIN DU VOL MH370 : UN AMERRISSAGE FORCÉ, ÉTUDE DU FLAPERON HEURTANT LA SURFACE DE LA MER

des flux dans le domaine segmenté choisi sont illustrés figure 4 ci-dessous.

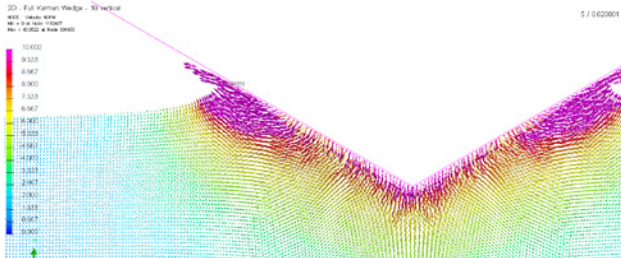


Fig. 4 Champ vectoriel d'écoulement des flux pour un coin de type Von-Karman Wedge pénétrant de haut en bas dans l'eau

De même, la force totale de réaction verticale appliquée sur le coin en fonction de la pénétration de l'eau est indiquée dans la figure 5 ci-dessous en comparaison à la prédiction de la théorie Von-Karman (adaptée à une vitesse verticale constante et intégrant la « correction de Wagner »).

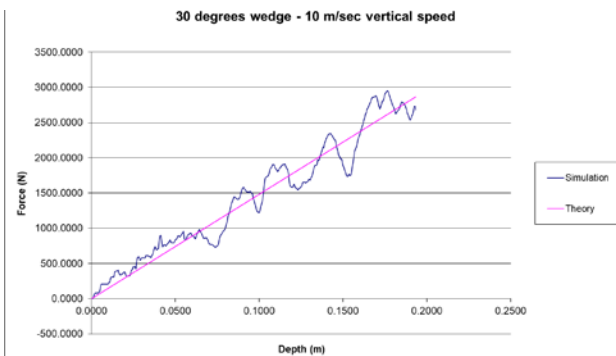


Fig. 5 Comparaison de la simulation de la force verticale résultante de Von-Karman Wedge par rapport à la théorie (l'amplitude de la force n'est pas pertinente, seule la forme de la courbe importe)

La comparaison ci-dessus étant très satisfaisante, la granularité associée à cette modélisation numérique SPH ainsi que la caractérisation du matériel utilisée pour l'eau ont été adoptées et figées pour être utilisées dans l'analyse ultérieure du flaperon lui-même.

SIMULATION DE L'AMERRISSAGE GUIDÉ D'UN FLAPERON COMME UN CORPS RIGIDE EN 2D ET 3D

Puisque la géométrie de la surface inférieure du flaperon correspond à la moitié d'un coin de Von Karman, il a donc été possible d'en déduire le modèle 2D d'une plaque rigide inclinée à 30 degrés.

Le modèle a été utilisé pour une analyse d'un scénario d'amerrissage guidé avec une vitesse horizontale constante de 68,42 m/sec (153 milles/heure) et une vitesse verticale

de 2,54 m/sec (500 pieds/min) et avec la granularité SPH choisie dans la section précédente. La figure 6 ci-dessous illustre un instantané typique de la simulation.

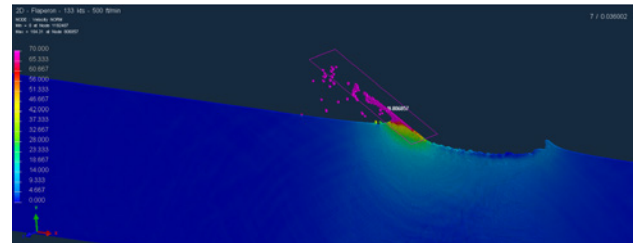


Fig. 6 Contours de vitesse de la simulation d'amerrissage 2D SPH de la plaque à 30 degrés

La force de pression sur le flaperon due à l'amerrissage forcé a été calculée comme la force résultante provenant du contact entre la plaque et le liquide. L'évolution temporelle de cette force a ainsi été obtenue, de même que le moment correspondant de flexion sur la zone où le bord de fuite du flaperon s'est rompu.

Grace au rapport du laboratoire de la Délégation Générale à l'Armement (DGA), il a été possible d'extraire les caractéristiques géométriques du flaperon (épaisseur de la peau porteuse de charge, etc.).

Les valeurs d'équilibre de contrainte en fonction de l'épaisseur de l'endroit où le bord de fuite s'est rompu ont été évaluées (voir Figure 7) montrant des niveaux élevés irréalistes fournissant ainsi une première indication que la section se briserait dans ces conditions.

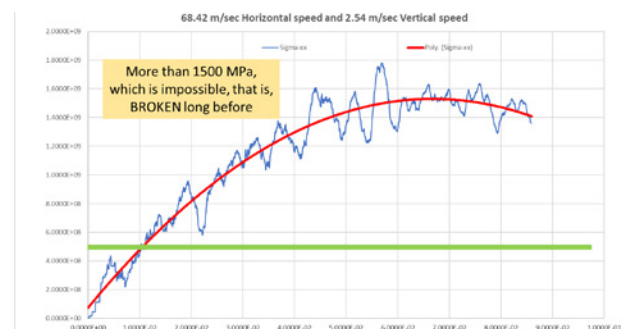


Fig. 7 Évolution temporelle directe du stress de la peau à la section où le flaperon s'est brisé

Cependant, cette analyse 2D sur une plaque infinie ne donne qu'un ordre de grandeur du problème et surestime les dégâts d'un amerrissage forcé. Elle ne prend pas en compte la réduction de pression inhérente au flux d'évacuation latérale de l'eau provenant des effets de bord puisque le flaperon est en réalité un corps fini.

L'étape suivante a permis d'évaluer le comportement d'un modèle de flaperon rigide complet en 3D lors d'un scénario d'amerrissage 3D lui aussi complet. La figure 8 donne un instantané de l'amerrissage forcé du flaperon rigide 3D. La Figure 9 montre une vue détaillée des éclaboussures durant l'impact.

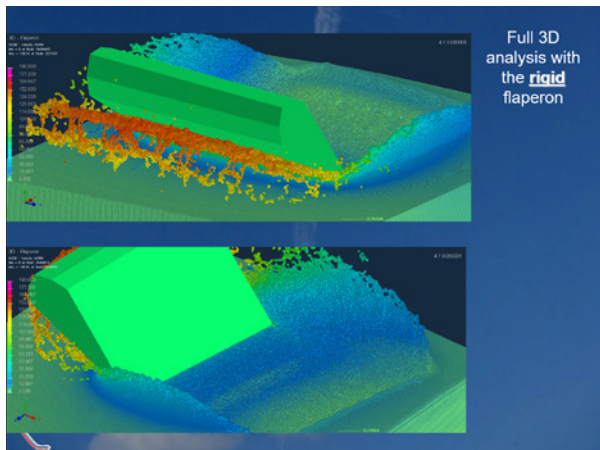


Fig. 8 Simulation d'amerrissage par SPH du flaperon rigide 3D

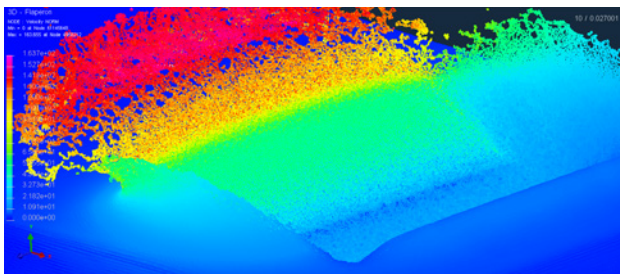


Fig. 9 Détail des contours de la vitesse de l'eau dans la simulation d'amerrissage forcé SPH

Les forces obtenues induites par la pression résultante ont eu la même évolution globale que dans le cas 2D mais avec une réduction de 25% par rapport à celui-ci. Cela ne change toutefois pas la conclusion globale que le flaperon connaîtrait des contraintes très élevées dans cette zone.

L'amerrissage violent d'un corps rigide implique en général (aux premiers stades) des impulsions de pression très élevées de courte durée qui sont causées par des sautes de stress lors de l'impact avant que ne soit établi un flux de Bernoulli (décuplé à l'interface de contact puisque le corps est rigide; à la limite de la condition faible de Shock-Hugoniot). Dans le cas d'une structure flexible, les contraintes associées provoqueraient des dommages certains ou déclencheraient de grandes déformations locales. Étant donné que le flaperon n'est pas une structure rigide, loin s'en faut, l'étude doit se poursuivre en considérant l'amerrissage entièrement en 3D comme

discuté ci-dessus mais avec un modèle élastique de flaperon. L'étude couvrira donc aussi les dommages et la défaillance causés au flaperon.

SIMULATION DE L'AMERRISSAGE GUIDÉ D'UN FLAPERON ÉLASTIQUE EN 3D

L'annexe 1.12A-2 du rapport d'analyse de la DGA fournit les caractéristiques géométriques et matérielles du flaperon. Il y est clairement noté que la peau extérieure (supérieure et inférieure) du flaperon est composée de deux stratifiés composites séparés par un noyau en nid d'abeilles. Chaque stratifié est composé de trois couches de matériau collées dont les laies sont croisées et orientées à +/-45, 0/90 et de +/-45 degrés entre eux comme indiqué dans la figure 10 ci-dessous.

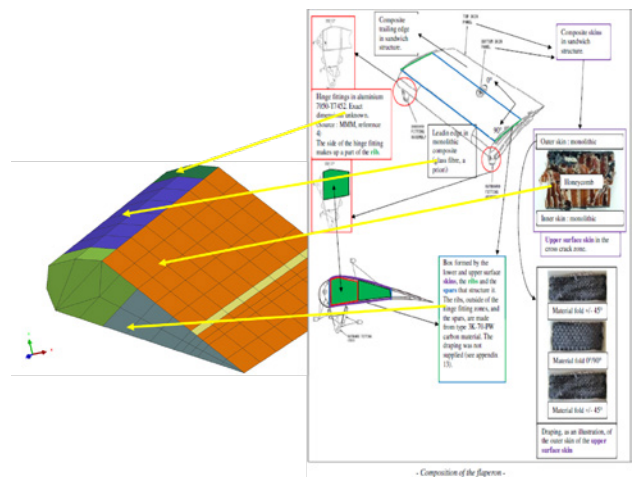


Fig. 10 Informations de modélisation du flaperon élastique 3D

La modélisation d'une telle structure s'appuie sur l'utilisation de la méthode des Eléments Finis appliqués à une coque 3D en matériaux composites. L'option avancée dans le code VPS pour une coque multi matériau multicouches a été utilisée, ce qui permet de mélanger différentes couches avec des propriétés matérielles différentes et avec différentes orientations dans leur superposition.

Le rapport de la DGA mentionne uniquement le composite 3K-70-PW comme composant du flaperon, il n'y a pas d'autre solution que d'utiliser ce matériau pour l'analyse qui suit.

Comme ce même rapport ne fournit aucune donnée matérielle explicite sur ce composite, les propriétés typiques du composite 3K-70-PW ont donc été obtenues à partir du rapport AGATE de la NASA comme le montre la figure 11.

LA FIN DU VOL MH370 : UN AMERRISSAGE FORCÉ, ÉTUDE DU FLAPERON HEURTANT LA SURFACE DE LA MER



Advanced General Aviation Transport Experiments

B - Basis Design Allowables for Epoxy - Based Prepreg

Fiberite Plain Weave Graphite Fabric T650 3K-70-PW / 7740

AGATE-WP3.3-033051-100

September 2001

J. Tomblin, J. McKenna, Y. Ng, K.S. Raju
National Institute for Aviation Research
Weber State University
Weber, UT 84403-0005

Fabric 3K-70-PW

Resin Content [%]	38 %
Average Fiber Density	1.778 g/cc
Average Resin Density	1.27 g/ccm
Average Ply density	1.585 g/ccm
Ply thickness	0.2 mm
0 / 90 degree modulus (tension/compression)	~69 GPa
Failure strain (tension/compression)	~1.3%
Shear modulus "yield strain"	~4 GPa ~2%
Failure strain	~10%
Shear Strength	~96 MPa

Fig. 11 Détails des caractéristiques du matériau constituant les couches du composite

La figure 11 montre que chaque couche a des propriétés qui, en termes de rigidité axiale (pas de rupture) au niveau stratifié, correspondent à peu près à un «black aluminium».

Les propriétés d'endommagement et de ruine ont été estimées afin de correspondre aux caractéristiques du matériau ci-dessus et ont été introduites dans le modèle de matériau composite biphasique du VPS.

Le bord de fuite du flaperon, c'est-à-dire la zone située entre la section du longeron où la rupture du flaperon s'est produite et l'extrémité arrière du flaperon, est supposé être rempli par un nid d'abeilles. Cette information provient de la similitude de conception entre les bords de fuite d'un flaperon, d'un volet ou d'un aileron lors de la conception d'une aile. Cela augmente la rigidité transversale en épaisseur car l'enveloppe est très mince et flexible et que le bord de fuite se termine par un coin effilé. Cela a été modélisé de manière indirecte en utilisant judicieusement l'option « auto-contact » du VPS avec une épaisseur de contact variable, initialement ajustée automatiquement par le VPS pour être assez grande afin de garder séparées les surfaces supérieures et inférieures. De cette façon, il n'y a pas besoin de modéliser le nid d'abeilles lui-même qui aurait exigé beaucoup d'efforts et aurait pénalisé les calculs pour un gain discutable, si ce n'est de fournir une rigidité à travers l'épaisseur.

Le flaperon a donc été analysé dans le scénario d'amerrissage en 3D complet décrit précédemment, mais en utilisant le modèle élastique avec la modélisation des dommages matériels caractérisés ci-dessus. Le résultat est illustré dans la figure 12 et la fracture du bord de fuite juste au-delà de l'extrémité du longeron de bord de fuite est clairement visible.

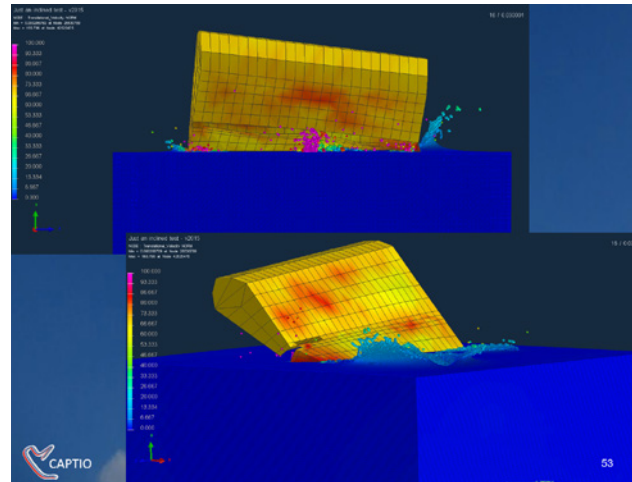


Fig. 12 Simulation d'amerrissage forcé du flaperon élastique 3D

Ce résultat a été systématiquement reproduit avec de légères variations dans les propriétés du matériau ainsi que dans le cas extrême, de la simulation d'une feuille d'aluminium équivalente («black aluminium»); une déformation plastique local et très forte se produit toujours à l'arrière du longeron de bord de fuite du flaperon.

Une des simulations a permis de mieux entrevoir la façon de se déformer et de rompre du matériau. Il est apparu qu'une rupture par tension a semblé se produire simultanément sur l'enveloppe supérieure et l'enveloppe inférieure du flaperon à l'arrière du longeron de bord de fuite. Il semble que la présence du remplissage en structure de nid d'abeilles du bord de fuite (son effet a été modélisé comme une variable « auto-contact ») a permis la transmission des forces de pression d'amerrissage de l'enveloppe inférieure à l'enveloppe supérieure du flaperon au moment de l'impact sur l'eau.

Du point de vue de la simulation, la façon de rompre de l'enveloppe du flaperon à proximité du longeron de bord de fuite devient plus locale, si l'on tient compte du fait que la peau n'est pas reliée au longeron par une soudure continue mais par des attaches ponctuelles (vis). Les trous associés sont des concentrateurs de contraintes, les dommages locaux sous tension peuvent être plus élevés dans leur voisinage pour un même stress exercé à distance. Pour éviter de modéliser explicitement ces trous, ils peuvent être émulés en réduisant le volume des éléments finis localement dimensionnés grossièrement qui les englobent et/ou en abaissant les seuils de dégâts qui leur sont associés. La pré-contrainte des vis est, bien sûr, une variable supplémentaire, très difficile à quantifier dans la réalité, mais, à l'impact, elle ne modifiera pas la présence d'une concentration locale du stress.

SIMULATION DE L'AMERRISSAGE D'UN FLAPERON ÉLASTIQUE EN 3D EN CHUTE LIBRE

Nos scénarios de simulation ont été inspirés par le travail effectué par la DGA. Dans son rapport, il a été spéculé que l'amerrissage forcé du flaperon aurait pu entraîner une rupture sur bord de fuite tandis qu'une chute libre aurait montré un premier impact plutôt sur le bord d'attaque.

Pour le cas de chute libre, les forces aérodynamiques (portance et traînée) et la force de gravité ont été prises en compte pour calculer l'évolution de la portée, de la vitesse et de l'angle de trajectoire de vol du flaperon avec un angle d'attaque monotone pratiquement nul. Comme mentionné dans le rapport de la DGA, le Centre de Gravité (CG) du flaperon est bien sur l'avant de son centroïde. La force de gravité aurait donc tendance à produire un moment de tangage vers le bas tandis que la forme de traînée agirait plus en arrière. De ce fait, le scénario privilégié est une descente monotone le nez en bas avec un impact dans l'eau le bord d'attaque en premier.

Les équations de base du mouvement, en l'absence de poussée, ont été écrites en termes de directions longitudinales (suivant la corde) et normales (suivant l'épaisseur) du flaperon, en supposant un certain angle de trajectoire de vol « alpha ». L'équilibre longitudinal inclut la traînée et la projection de poids correspondante du flaperon, tandis que la direction normale inclut la portance et la projection de poids correspondante due à l'angle « alpha ». Les accélérations longitudinales et normales peuvent être calculées et intégrées dans le temps. Les incréments de vitesse correspondants sont ensuite obtenus, puis on effectue la mise à jour de l'angle de trajectoire de vol « alpha » et la mise à jour des vitesses horizontale et verticale correspondantes qui, grâce à une intégration plus poussée dans le temps, donnent la portée et l'altitude à chaque itération.

En supposant un détachement à 5000 pieds et à 400 km/heure en vitesse longitudinale avec une masse de 50 kg, et en utilisant les propriétés sectionnelles du programme FoilSim de la NASA, le scénario décrit ci-dessus donne une vitesse terminale (vitesse d'impact) de 38 m/sec (137 km/heure), avec un angle de 50 degrés en piqué du nez. Le flaperon percuterait l'eau après 60 secondes de vol libre à une portée de 1626 mètres.

Le flaperon a été simulé percutant la mer dans les conditions calculées ci-dessus et les résultats sont illustrés par la figure 13.

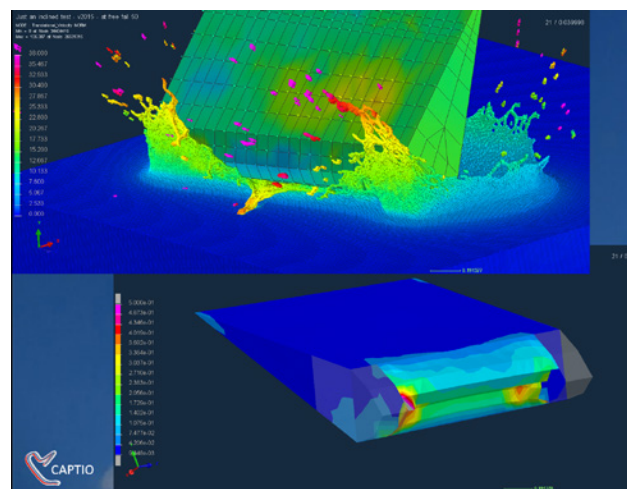


Fig. 13 Simulation de l'impact sur la mer du flaperon élastique dans l'hypothèse d'une chute libre

Il est clairement visible d'après la Figure 13 que, dans un tel scénario de choc avec l'eau, le bord d'attaque du flaperon serait très probablement victime de dommages locaux et de rupture et qui ne sont pas ceux que l'on voit sur la photo du flaperon.

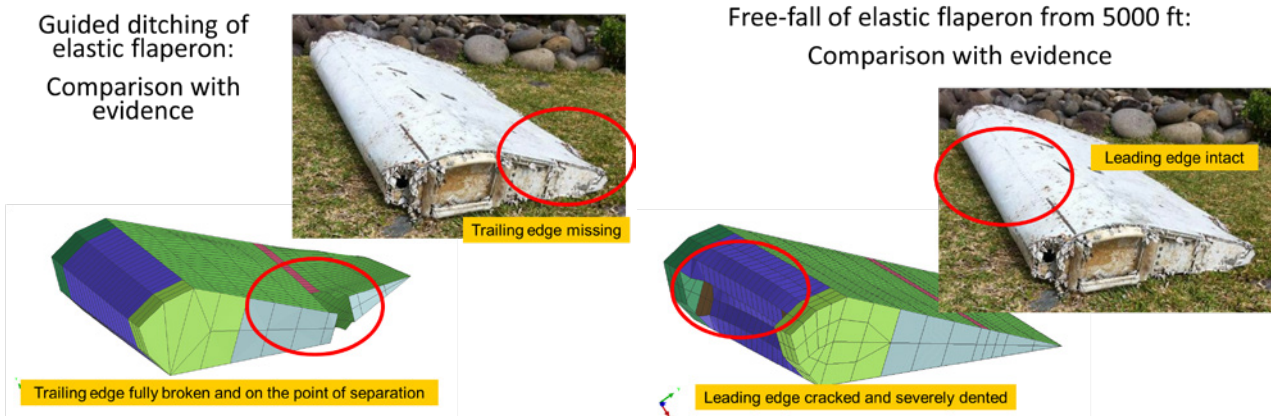


Figure 14 Comparaison des conséquences sur un flaperon élastique entre un amerrissage forcé et un impact avec la mer après chute libre

SCIENCES ET TECHNIQUES AEROSPATIALES
LA FIN DU VOL MH370 : UN AMERRISSAGE FORCÉ, ÉTUDE DU FLAPERON
HEURTANT LA SURFACE DE LA MER

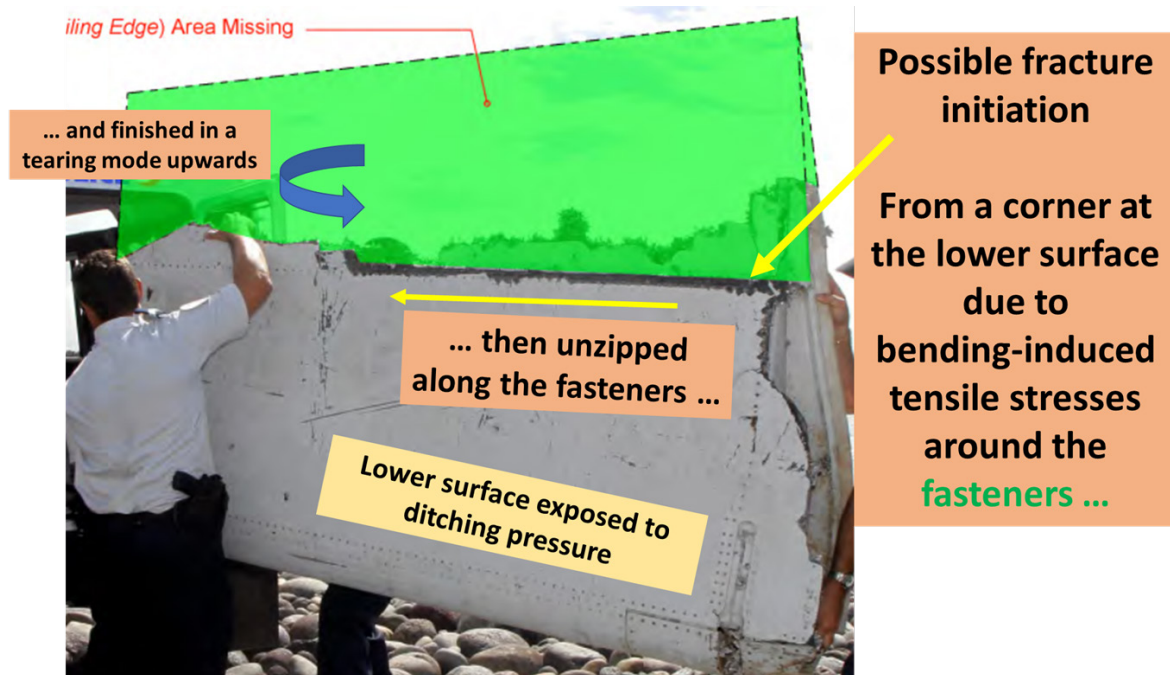


Fig. 15 Scénario possible pour la rupture du bord de fuite du flaperon

DISCUSSION DES RÉSULTATS

La comparaison entre l'amerrissage guidé et les scénarios de chute libre en termes de dommages au flaperon est montrée par la figure 14.

Il est clairement visible que seul l'amerrissage guidé (ou un scénario du même genre) produit des dommages et une rupture sur le bord de fuite, tandis qu'un scénario de chute libre, selon les hypothèses du rapport de la DGA, privilégie davantage des dommages localisés proches du bord d'attaque.

CONCLUSION

L'analyse du flaperon par CAPTIO présentée dans ce document montre que la cause la plus probable de la séparation de son bord de fuite penche en faveur d'un scénario d'amerrissage forcé, c'est-à-dire que le flaperon était toujours attaché à l'aile de l'avion jusqu'à l'impact avec la mer et qu'il ne s'était pas détaché en vol.

Ceci est en accord la conclusion du rapport de la DGA.

Le mécanisme qui a permis à l'eau de mer de percuter le flaperon de manière à créer ce type de dommages ainsi que l'éventuelle libération totale du flaperon de l'aile est actuellement à l'étude par CAPTIO et sera présenté dans une publication ultérieure.

En ce qui concerne le scénario de défaillance du bord de fuite du flaperon, la figure 15 présente le résultat le plus clair de cette enquête. ■

RECHERCHE DE DÉBRIS DE RÉACTEUR DU VOL AF66 ENFOUIS SOUS LES NEIGES DE L'INLANDSIS DU GROENLAND : UTILISATION D'UN RADAR AÉROPORTÉ POUR LE SONDAGE D'UNE GRANDE SURFACE

par Hubert M.J. Cantalloube, Olivier Ruault Duplessis et Pascale Dubois-Fernandez, ONERA

UN ACCIDENT RARE SUR UN TERRAIN D'ACCÈS DIFFICILE

Le 30 septembre 2017, durant le vol Paris - Los-Angeles, la soufflante d'un des moteurs GP7200 Engine Alliance équipant l'airbus A380 s'est désintégrée en vol alors que l'appareil survolait la pointe Sud du Groenland[1]. Un tel accident, la défaillance dite non contenue, d'un réacteur est rare, mais d'une extrême gravité en raison des débris projetés à haute énergie qui peuvent endommager sévèrement l'aéronef.

L'appareil a pu rejoindre l'aéroport de Goose Bay au Labrador pour un atterrissage de précaution et un premier examen visuel indiqua qu'une rupture du moyeu de la soufflante était probablement à l'origine de l'accident. Cette pièce qui transmet l'essentiel de la puissance propulsive (celle du flux froid) et entraîne le premier étage de compresseur est très massive (260 kg sur ce moteur).

Immédiatement après l'accident, l'analyse des enregistreurs de vol permit de positionner assez précisément le lieu de l'accident: un point situé à 100 km au nord-ouest de Narsassuaq à 1800 m d'altitude sur l'inlandsis du Groenland. Des prises de vue satellite sont programmées afin de retrouver les débris, essentiels pour la compréhension des causes de la rupture. En raison des conditions météorologiques difficiles en zone polaire, l'accès à la zone de l'accident en hélicoptère n'a été possible que quelques jours après l'accident et la première vue satellite sans couverture nuageuse a été obtenue 11 jours après l'accident.

Un grand nombre de débris ont été collectés les jours suivant l'accident, mais aucun fragment du moyeu. Quinze jours après l'accident, la neige avait tout recouvert et seul un très gros fragment du carénage non collecté dépassait encore (voir Figure 1). Dans cette zone d'accumulation/percolation, la neige s'accumule à un taux d'environ 1,50 m par an et, en été, l'eau de fusion superficielle percole formant des couches de glace. La neige se compacte ensuite en glace sous son poids à grande profondeur et l'ensemble coule lentement vers l'océan (vers le sud) à une vitesse d'environ 60 m par an.



Fig. 1 Photo in-situ et vue le 11 octobre 2017 par le satellite Pleiades 1 d'un gros fragment de carénage laissé sur place après inspection.

La récupération d'un fragment au moins du moyeu était nécessaire pour comprendre les causes de sa rupture.

Outre la position de l'aéronef au moment de l'explosion de la soufflante, les enquêteurs du BEA ont déduit l'angle d'éjection et le nombre (2) des fragments du moyeu à partir des perforations observées sur le blindage du carénage récupéré sur le terrain. Des modélisations par le motoriste en ont estimé la vitesse d'éjection. À partir de ces données et des vents en altitude ce jour là, des spécialistes de balistique (ArianeGroup et le NTSB) ont pu déterminer des périmètres de chute probable (2 zones de 0,5 km² prioritaires, dans une zone secondaire de 2 km², elle-même incluse dans une zone de recherche de 6,25 km²).

Les méthodes de recherche sous la neige utilisées jusqu'alors (par exemple pour retrouver les victimes d'avalanche) sont le sondage par radar au contact de la surface (GPR pour Ground Penetrating Radar), le détecteur de métal (TEM pour Transient Electro-Magnetic) et les chiens policiers de recherche. L'accident s'est produit dans une région d'accès difficile : en été, les ponts de neige au

RECHERCHE DE DÉBRIS DE RÉACTEUR DU VOL AF66 ENFOUIS SOUS LES NEIGES DE L'INLANDSIS DU GROENLAND : UTILISATION D'UN RADAR AÉROPORTÉ POUR LE SONDAGE D'UNE GRANDE SURFACE

dessus des crevasses sont fragilisés rendant la progression dangereuse, en automne/printemps, les températures extrêmes et les vents rendent l'accès par hélicoptère impossible 50% du temps et le travail extérieur impossible 20 à 30% du temps. La présence d'ours blancs impose en outre l'installation de barrières de détection et l'export d'un armement adapté.

Pour cette raison, l'Institut Géographique National (IGN), consulté sur la possibilité d'une télédétection des débris, a proposé une campagne d'imagerie radar aéroporté par l'ONERA pour tenter de localiser ceux-ci à travers la couche de neige. En effet, en dessous de 0°C, la neige, ne contenant pas alors d'eau liquide, est isolante et peu dense laissant espérer une possible pénétration par les ondes radio.

LA CAMPAGNE D'ACQUISITION RADAR AU GROENLAND : LES MAUVAISES SURPRISES D'UN MILIEU MAL CONNU.

L'équipe du radar aéroporté SETHI à l'ONERA a alors planifié une couverture radar d'une zone étendue d'environ 25 km² autour du périmètre de recherche. Des mesures radar préliminaires ont été effectuées dans le Sud de la France sur un moyeu et une pale de soufflante afin d'évaluer le contraste à attendre sur la cible, le niveau de rétrodiffusion d'une calotte glaciaire étant connu par des mesures in-situ par GPR durant des explorations polaires et des mesures satellitaires.

Ces mesures montraient une considérable variation de l'écho de la cible en fonction de la direction d'éclairage, un effet que l'on postulait encore accentué par la déformation des fragments du moyeu. En l'absence de conclusion sur le compromis entre une meilleure résolution et une section efficace plus élevée à haute fréquence contre une meilleure pénétration attendue à basse fréquence, le plan d'acquisition prévoit d'imager la zone de recherche étendue dans selon 4 directions en bande X et 8 directions en bandes L et UHF.

Les figures 2 et 3 montrent deux plans de vols typiques en bande X et en bandes UHF + L (noter que dans le cas de la bande X, l'antenne du radar est trop directive pour être sûr de bien couvrir la zone de recherche en un seul passage ; aussi pour chaque direction, les passages sont répétés 3 fois avec un chevauchement de 1/3 de l'image). La distance des deux aérodromes à proximité (Narsassuaq à 100 km et Kangerlussuaq à 500 km) limitait les mesures à 30 et 47 minutes par vol.

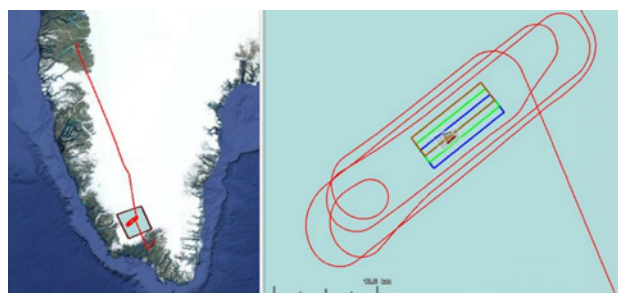


Fig. 2 Vol d'acquisition en bande X (vol n° 2). Les rectangles bleu, vert et brun correspondent aux trois images se chevauchant (prises une fois chacune dans les deux directions opposées). Les zones remplies en rouge et bleu sont les zones de recherche prioritaires, en orange la zone secondaire et en gris la zone étendue.

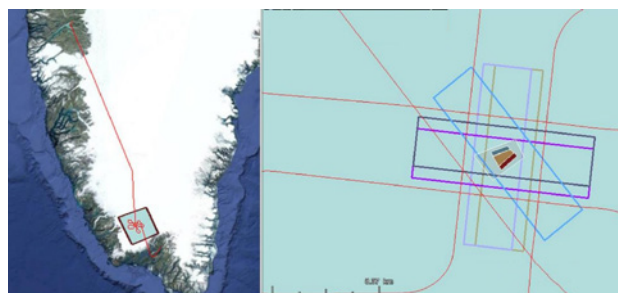


Fig. 3 Vol d'acquisition en bande L et UHF (vol n° 4). Les rectangles correspondent aux images pour chaque direction mesurée simultanément en bande L et en bande UHF (ici, 5 des 8 directions prévues sont mesurées).

L'organisation de cette campagne a aussi été rendue plus compliquée par le fait que l'avion porteur (un Dassault Mystère 20 mis en œuvre par la société AVDEF, voir Figure 4) n'avait pas assez d'autonomie pour venir d'Europe avec ses radars sous les ailes. Ceux-ci ont dû être installés à Kangerlussuaq, ce qui a imposé d'apporter sur place tout le matériel nécessaire à cette opération (un total de 2,8 tonnes de matériel incluant un centre de calcul de campagne). Un système de chauffage a dû être ajouté à certains composants critiques du radar non prévus pour un fonctionnement à des températures polaires.



Fig. 4 Le système SETHI dans la configuration utilisée au Groenland, l'antenne UHF est sous l'aile gauche (visée vers la gauche). Les antennes X et L sont sous l'aile droite (visant respectivement vers la droite et la gauche).

SCIENCES ET TECHNIQUES AEROSPATIALES

RECHERCHE DE DÉBRIS DE RÉACTEUR DU VOL AF66 ENFOUIS SOUS LES NEIGES DE L'INLANDSIS DU GROENLAND : UTILISATION D'UN RADAR AÉROPORTÉ POUR LE SONDAGE D'UNE GRANDE SURFACE

Une expédition polaire du GEUS Danois a prépositionné sur l'inlandsis 4 cibles radar de test en marge de la zone de recherche (voir Figure 5). Une de ces cibles était un vrai morceau de moyeu de soufflante de 80 kg enterré à une profondeur de 1,2 m (estimation de la profondeur des débris à cette date¹). Les autres cibles étaient destinées à la mesure de l'atténuation par la neige (trièdre), à servir de point de repère sur toutes les images (sphère de Luneburg) et à simuler une fausse alarme par une lentille de glace.

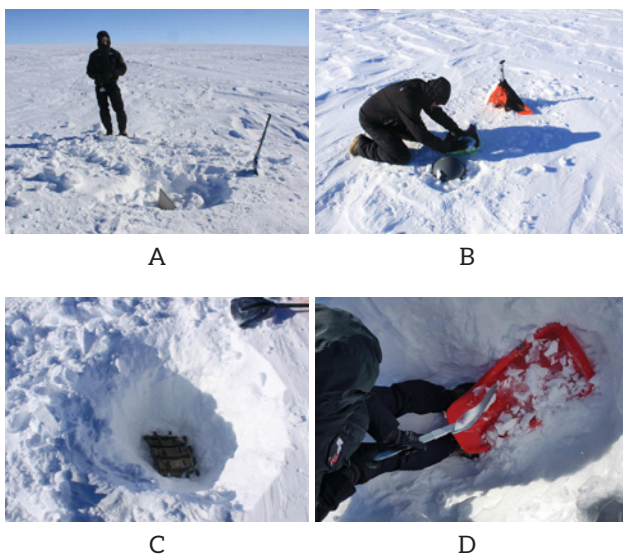


Fig. 5 Les cibles radar sur zone (avant rebouchage des trous) : A, un trièdre de calibration radiométrique affleurant. B, la sphère de Luneburg déposée en surface. C, le morceau de vrai moyeu à 1,2 m de profondeur et D, un bloc de glace.
photo : Nanna Karlsson GEUS

Les mesures au Groenland ont été effectuées en avril 2018, soit 6 mois après l'accident. Une couche de neige d'environ 1,5 m était tombée entre temps sur la zone de recherche, mais la surface n'était pas encore fondue et il restait possible d'organiser la collecte d'éventuels fragments détectés avant l'été dans des conditions de sécurité raisonnables.

Un premier vol d'acquisition local a été effectué le 5 avril afin de vérifier le bon fonctionnement du radar (voir Figure 6), d'effectuer des mesures précises des paramètres susceptibles d'avoir été altérés par le démontage/remontage, de vérifier le niveau de rétrodiffusion de la calotte polaire et, par l'imagerie au nadir, la pénétration dans la neige et la glace (voir Figure 7).

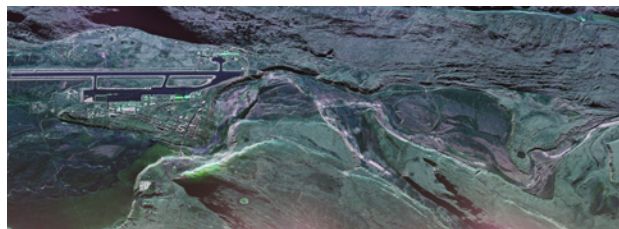


Fig. 6 Image en bande X de Kangerlussuaq au départ du vol de vérification.

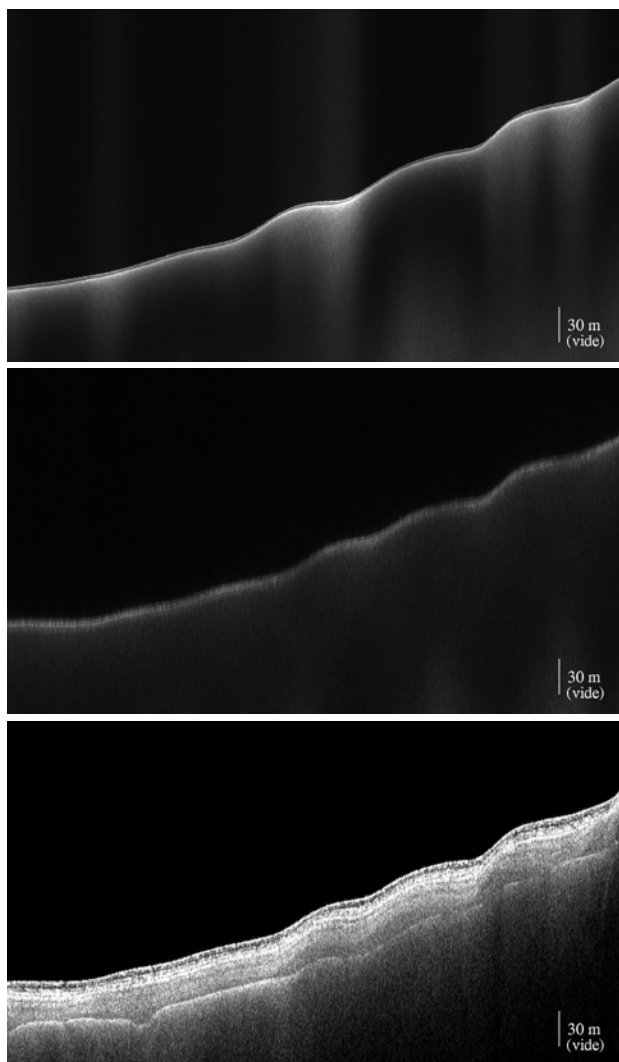


Fig. 7 Images SETHI de sondage (imagerie verticale) en bande X (haut), L (milieu) et UHF (bas). Le profil couvre 10 km dans le sens de déplacement du capteur. La profondeur de pénétration sous la surface augmente bien avec la longueur d'onde.

¹En fait, les observations faites sur la couche de neige et de glace pendant la récupération du fragment de moyeu le 1er juillet 2019 indiquent que la surface supérieure de celui-ci devait se trouver à une profondeur de 1,8 m en avril 2018

RECHERCHE DE DÉBRIS DE RÉACTEUR DU VOL AF66 ENFOUIS SOUS LES NEIGES DE L'INLANDSIS DU GROENLAND : UTILISATION D'UN RADAR AÉROPORTÉ POUR LE SONDAGE D'UNE GRANDE SURFACE

Sur les profils de la figure 7, on observe principalement sous la surface les échos sur les couches de glace compacte formées chaque été. Dans le cas de la bande X, seule la première, (été 2017) apparaît sous la surface à 2,5 m pour une propagation dans l'air, soit environ 1,9 m dans une neige d'indice de réfraction égal à 1,3).

En bande L, malgré une résolution plus faible, on observe 3 couches, soit une pénétration de 9 m (11 m dans l'air) et en bande UHF, on observe de nombreuses interfaces, la plus profonde vers 30 m (39 m dans le vide). On peut y remarquer, à une profondeur de 11 m (15 m dans l'air), la couche plus marquée de l'été « caniculaire » de 2012.

Les mesures sur la zone de recherche ont commencé le lendemain, mais l'appareil, bloqué pour raison météo à Narsassuaq, n'a pu ramener les premiers signaux au centre de calcul de campagne que le 8 avril. Les premières images radar de la zone de recherche, obtenues dans les heures suivant l'atterrissage, présentent un aspect complètement inattendu :

- La zone apparaît striée de nombreux champs de crevasses (voir Figure 10), alors que l'imagerie satellitaire optique et les vues aériennes n'indiquaient qu'un champ de crevasses, une cascade de glace et un ancien lac de fonte au sud-ouest à l'extérieur de la zone (voir Figure 8).
- Les cibles enterrées par le GEUS n'apparaissent pas ou très faiblement. En particulier, le trièdre affleurant sous la surface répond en bande X à un niveau mille fois plus faible que celui mesuré dans l'air pendant le vol de vérification.

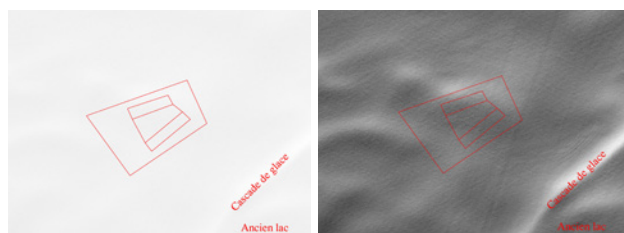


Fig. 8 Images Landsat de 10 × 9 km² autour de la zone de recherche (contours rouges). À droite, la dynamique a été resserrée afin de visualiser quelques crevasses au sud-ouest.

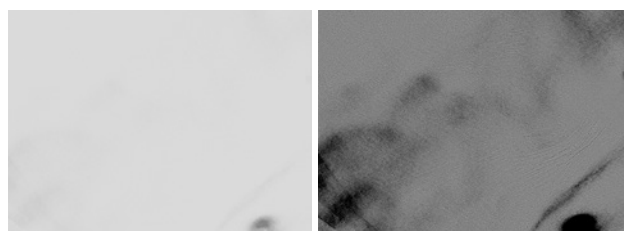


Fig. 9 Image SETHI en bande X de la même région. À droite, la dynamique a été resserrée pour visualiser les crevasses superficielles.

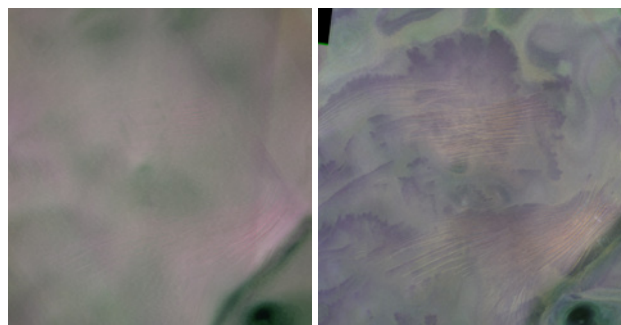


Fig. 10 Images SETHI en bande L (gauche) et UHF (droite). Les crevasses de plus en plus profondes sont visualisées.

L'écho de la lentille de Luneburg (posée sur la neige deux semaines plus tôt) était faiblement atténué. Néanmoins, dès le second vol en bande X, une très forte atténuation fut aussi observée sur celle-ci, conséquence probable de son recouvrement complet par la neige tombée en abondance entre-temps. Comme aucune image en bande X ne montrait d'écho apparent pour le morceau de moyeu enterré à 1,2 m de profondeur, il fut conclu que l'atténuation par la couverture neigeuse était bien plus forte que les valeurs prévues. Les efforts sur place ont été reportés sur les basses fréquences (L et UHF) qui n'ont toutefois pas permis de détecter le fragment de moyeu enterré (dont la position nous était connue), ni même celle du fragment de la figure 1 dont la position nous était intentionnellement cachée, afin de vérifier si nous pouvions effectivement détecter des fragments enfouis sous la neige.

UNE ANNÉE DE FAUSSES PISTES

Suite à l'échec de détection des fragments du moyeu à l'aide du radar SETHI, la campagne d'exploration polaire du GEUS, initialement prévue pour récupérer les fragments que l'ONERA aurait localisés, fut transformée en une campagne de sondage systématique au GPR (voir Figure 11) en commençant par la zone de plus grande probabilité issue des calculs de balistique. Cependant, des essais faits au GPR sur le fragment de moyeu enterré un mois plus tôt ont montré qu'il fallait passer selon deux directions perpendiculaires et à moins d'un mètre pour détecter celui-ci avec une bonne fiabilité. Le balayage exhaustif, durant trois semaines d'expédition dans des conditions éprouvantes, n'a pu couvrir qu'une petite fraction de la zone de recherche complète et n'a rien produit.

SCIENCES ET TECHNIQUES AEROSPATIALES

RECHERCHE DE DÉBRIS DE RÉACTEUR DU VOL AF66 ENFOUIS SOUS LES NEIGES DE L'INLANDSIS DU GROENLAND : UTILISATION D'UN RADAR AÉROPORTÉ POUR LE SONDAGE D'UNE GRANDE SURFACE

Diverses approches de détections TEM² ont été envisagées, mais en raison de la faible profondeur ciblée, il fallait un capteur en surface. L'université d'Aarhus mit au point un capteur suffisamment sensible pour détecter les cibles recherchées jusqu'à 6 m de distance du capteur (rendant possible une recherche systématique selon une grille 40 fois moins dense que celle de la figure 11).



Fig. 11 Sondage systématique au GPR selon une grille au pas de 1 m, tenté en mai/juin 2018 par le GEUS.
photo : Stéphane Otin BEA

Après l'évènement, le constructeur du moteur a mis en place une série d'inspections des moyeux de soufflante de la flotte afin de s'assurer que d'autres pièces n'étaient pas sujettes à une potentielle défaillance. En effet, sans pouvoir examiner la pièce à l'origine de la défaillance, les scénarios probables de rupture ne restaient que des hypothèses.

LE RETRAITEMENT DES MESURES SETHI

De retour en France, l'ONERA a investigué les raisons de la non détection des fragments enfouis et, en particulier, de l'atténuation observée en bande X sur le trièdre et la sphère de Luneburg recouverte de neige. Incidemment, ces études révélèrent que le fragment de moyeu enterré par le GEUS (à côté du trièdre) était visible sur certaines images à très haute résolution utilisées pour ces investigations³.

L'explication est que le trièdre et la sphère de Luneburg sont conçus pour renvoyer les ondes radio reçues dans un

fin pinceau dirigé vers l'émetteur quand ils sont dans l'air, mais une fois dans la neige, les ondes réfléchies partent dans des directions dispersées et la proportion reçue par le radar décroît considérablement. Pour un objet de forme quelconque comme un débris, les réflexions se font déjà dans toutes les directions dans l'air et cela ne change pas significativement dans la neige.

Même si cette constatation rendait de nouveau envisageable la détection des fragments du moteur recherchés à l'aide des mesures en bande X, le faible niveau de l'écho sur le morceau enterré par le GEUS (à peine 10% du niveau de l'environnement) devait demander des efforts de traitement considérables.

MOTIVATION DU RETRAITEMENT DE LA BANDE X

Sur une zone de recherche de 3 milliards de pixels ($18 \times 18 \text{ cm}^2$ en bande X, donc des fragments recherchés de 3 à 4 pixels), un taux de fausse alarme de 10^{-9} correspond à en moyenne une fausse alarme dont l'examen sur le terrain requiert l'excavation de tonnes de neige.

Or le radar est un système d'imagerie cohérente, ce qui induit sur les images des fluctuations d'amplitude aléatoires appelées chatoiement (*speckle*)⁴. Pour les atténuer, il faut faire la moyenne entre des valeurs de pixel indépendantes. Ici, nous ne pouvions pas moyenner au delà de quelques pixels voisins sans diluer la cible dans plus de fond de neige/glace, ce qui aurait un effet contraire sur sa détectabilité. La seule alternative était d'empiler des images indépendantes.

Mathématiquement, si on empile N images indépendantes (N est appelé ENL pour *Equivalent Number of Looks*), l'écart-type normalisé des fluctuations est, pour N grand, environ $1,85 / \sqrt{N}$. Pour un taux de fausses alarmes de 10^{-9} , la cible doit dépasser de 6 écart-types les fluctuations du fond, soit, pour une cible à 10 % du fond, des fluctuations inférieures à $1/60$ du fond, donc N supérieur à 110.

²Le principe des détecteurs de métaux est d'induire par un champ magnétique alternatif émis par une bobine d'excitation des courants de Foucault dans la cible métallique. Après interruption du champ d'excitation, l'amortissement des courants de Foucault produit un faible champ magnétique transitoire détecté par une bobine de détection. Cette méthode peut être utilisée à faible distance du sol (par exemple sous un hélicoptère), mais les couplages entre bobines par les effets de surface induisent alors une distance aveugle de l'ordre de 5 à 10 m.

³L'analyse fréquentielle d'une image à résolution poussée au maximum est un moyen d'étudier la variation angulaire de la section efficace radar d'une cible. En fait, pour localiser plus facilement le trièdre sur l'image dont les pixels sont très étirés ($18 \times 3 \text{ cm}^2$), nous avons une image réduite de navigation et c'est sur celle-ci que le bloc de glace et le morceau de moyeu étaient visibles. Cette image de navigation correspondait à un ENL d'environ 50 (voir plus loin).

⁴Il est important de noter que ces fluctuations ne sont pas à strictement parler du bruit : Si on répète une mesure, les pics et creux de l'amplitude se produisent au même endroit (c'est cette propriété qui est utilisée pour mesurer le déplacement du sol entre deux acquisitions, p.ex. pour l'étude des séismes). Il y a bien sûr aussi du vrai bruit thermique, mais il est ici trois ordres de grandeur en-dessous du speckle.

RECHERCHE DE DÉBRIS DE RÉACTEUR DU VOL AF66 ENFOUIS SOUS LES NEIGES DE L'INLANDSIS DU GROENLAND : UTILISATION D'UN RADAR AÉROPORTÉ POUR LE SONDAGE D'UNE GRANDE SURFACE

En bande X, il était possible d'obtenir un ENL de 18 sur une seule acquisition en combinant les 24 images obtenues pour les 4 polarisations et en imageant un peu en avant et en arrière par rapport à l'axe de l'antenne⁵. Pour atteindre un ENL de l'ordre de 100, il fallait combiner les images de toutes les acquisitions effectuées en bande X⁶.

DIFFICULTÉS DU TRAITEMENT MULTI-VUES MASSIF

Outre la diminution des fluctuations d'amplitude du fond, l'empilage d'images issues d'acquisitions sous des directions différentes présente l'avantage d'augmenter les probabilités de détection d'un éventuel fragment en raison de la variation d'intensité de l'écho avec l'angle d'illumination.

Cependant, contrairement aux images issues d'une même acquisition qui se trouvent naturellement dans la même géométrie, combiner des images issues d'acquisitions différentes demande de les mettre dans un repère géographique commun (on parle d'inter-registation des images) avec une précision de l'ordre de la résolution spatiale (18 cm), ce qui dans le cas des images sur l'inlandsis (en l'absence de tout repère sur cette étendue uniforme de neige) demandait de connaître avec une précision absolue de l'ordre de 10 cm :

- La trajectoire du radar.
- La distance mesurée par le radar.
- L'altimétrie du terrain.
- Le glissement de tout le glacier vers le sud (acquisitions séparées de plusieurs jours).
- Et, plus important, l'effet de parallaxe dû à la profondeur d'enfouissement de la cible (stéréo) et les effets de la réfraction des couches de neige/glace sur sa position apparente (effets qui dépendent de la direction et de l'angle d'incidence de l'illumination).

Pour ce dernier point, la présence du gros fragment de la figure 1 fut un gros atout : sa forte visibilité même pour de faibles ENL permet de déterminer une profondeur apparente à cibler en fonction de l'incidence.

En plus de la registation des images, leur combinaison afin de minimiser les fluctuations d'amplitude par rapport au niveau de la cible supposait de connaître le rapport signal sur bruit (SNR) et de normaliser le niveau du

fond [2]. Malgré l'extrême homogénéité du paysage (voir la figure 9 gauche) la normalisation du fond suppose de modéliser celui-ci car, contrairement aux terrains couramment imagés, la surface de l'inlandsis n'a pas un comportement Lambertien⁷ dans l'intervalle des valeurs d'incidences utilisées (20 à 70°).

Le calcul, la registation et la fusion optimale de ces 432 images de 102 000 × 110 000 pixels demanda 750 heures de calcul et environ 40 téraoctets de mémoire de masse temporaire sur un ordinateur à 120 cœurs de calcul.

Sur l'image composite résultante, un filtrage à taux de fausse alarme constant (TFAC) avec trois hypothèses sur la taille de la cible, 50, 90 et 125 cm (élargissement dû à la défocalisation par les hétérogénéités de la neige inclus) produisit une centaine de détections.

Une fois éliminées les détections sur les cibles installées par le GEUS et un certain nombre de fragments restants dans le panache de débris légers qui avaient été localisés, voire photographiés, mais n'avaient pas pu être récupérés par la suite, il restait un grand nombre de détections d'échos sur les lèvres des crevasses à éliminer.

Il s'agissait soit d'écho contre la bordure d'un léger affaissement du pont de neige au-dessus de la crevasse (cette bordure apparaît comme une ligne claire sur l'image), soit d'échos sur les parois dans la bulle d'air sous le pont de neige (bulle qui apparaît comme une ligne sombre sur l'image).

Chaque détection proche d'une crevasse visible a été soigneusement examinée sur les images obtenues pour chacune des 4 directions d'illumination afin de déterminer sa profondeur et sa position par rapport à la crevasse (et l'éliminer uniquement si elle se trouve effectivement dessus).

La figure 12 illustre cette opération sur le candidat finalement retenu, très proche (2 m sur le côté et 2 m au dessus du plafond du pont de neige) d'une crevasse.

⁵ Toutes nos mesures ont été polarimétriques (émission alternativement en polarisations verticale et horizontale avec réception des deux composantes) ce qui fournit 4 images, avec un ENL de seulement 3 car les polarisations croisées sont égales au bruit près.

⁶ Trois acquisitions chevauchantes pour chacune des 4 directions, mais deux directions opposées ont été répétées en prévision d'éventuelles mesures de la profondeur des échos par la méthode d'interférométrie. Le total fait 432 images, mais l'ENL culmine à environ 200 à cause de la dépendance entre polarisations croisées et le chevauchement incomplet entre les 3 acquisitions pour chaque direction.

⁷ En raison de la pénétration sous la surface, les ondes incidentes ne sont pas diffusées d'une façon uniforme dans le demi-espace supérieur (ce qui conduit, pour un observateur co-localisé avec l'émetteur, à la loi de Lambert).

SCIENCES ET TECHNIQUES AEROSPATIALES

RECHERCHE DE DÉBRIS DE RÉACTEUR DU VOL AF66 ENFOUIS SOUS LES NEIGES DE L'INLANDSIS DU GROENLAND : UTILISATION D'UN RADAR AÉROPORTÉ POUR LE SONDAGE D'UNE GRANDE SURFACE

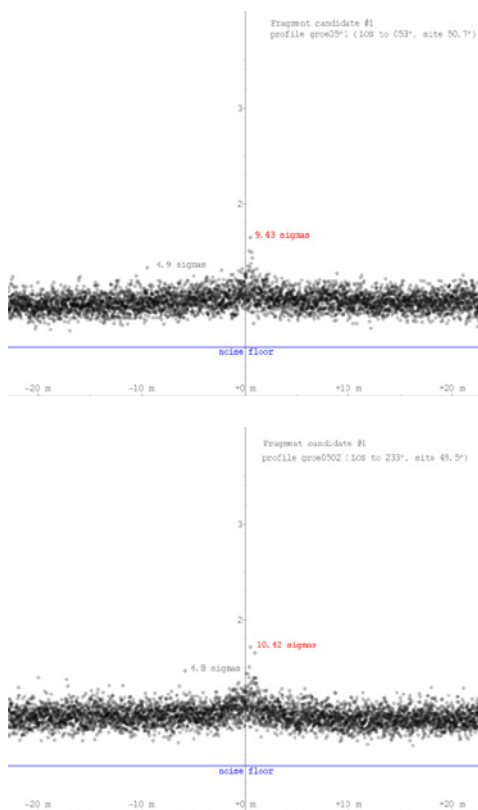
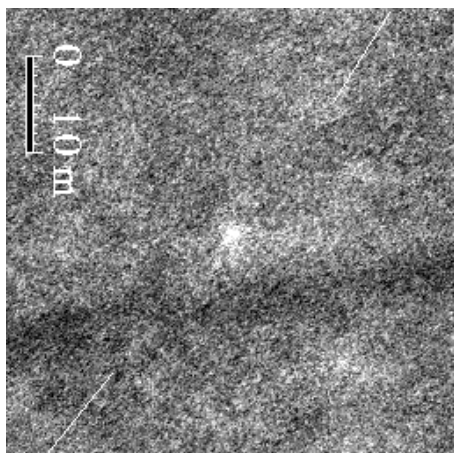


Fig. 12 Image bande X 432-vues finale avec la dynamique resserrée entre 90% et 110% du niveau du fond autour du candidat retenu (haut). La ligne sombre est une crevasse sous un pont de neige d'environ 3 m d'épaisseur.

En bas, les deux profils des images, 144-vues chaque, obtenues pour les directions d'observation indiquées par les traits fins. La correspondance des deux échos indique que la détection est bien à la profondeur visée (et donc n'appartient pas à la crevasse).

À l'issue de ce tri, il ne restait plus qu'un candidat fragment de moyeu et 7 candidats fragments légers non répertoriés dans le panache de fragments légers. Le candidat retenu était proche de la zone de recherche prioritaire issue des calculs balistiques pour le fragment éjecté vers le haut (à 11 heures par rapport à l'axe de vol), néanmoins, comme il se situait dans un champ de crevasse difficilement accessible, il nous a été demandé de fournir un candidat supplémentaire pour l'autre fragment.

Nous avons donc sélectionné deux candidats secondaires d'un niveau inférieur à celui du morceau enterré par le GEUS, mais encore supérieur à la première détection dans la zone déjà explorée au GPR (donc une fausse alarme confirmée⁹). La profondeur d'un seul de ces deux candidats a pu être mesurée, mais l'autre étant hors des champs de crevasse cette mesure était jugée moins critique.

CONFIRMATION PUIS RÉCUPÉRATION DU FRAGMENT DÉTECTÉ

En mai 2019, une expédition polaire[3] partit sur le terrain avec deux des détecteurs TEM conçus par l'Université d'Aarhus ainsi qu'un robot FrostyBoy destiné à le tracter de façon préprogrammée à travers les champs de crevasse vers le candidat 1, sans mise en danger d'explorateur (voir Figure 13).

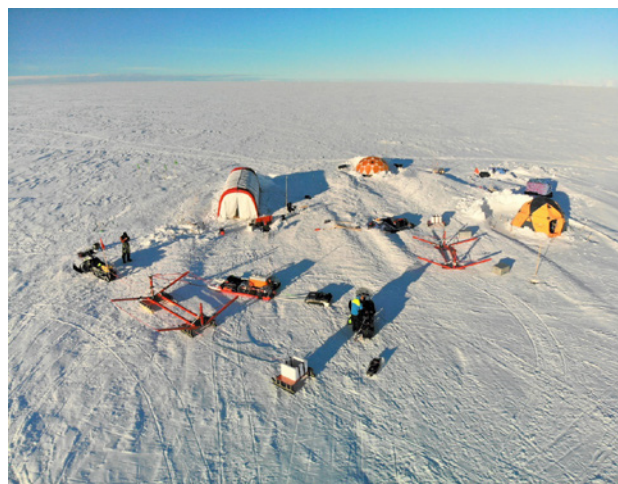


Fig. 13 L'expédition no 5 à son camp de base. Au premier plan un des détecteurs TEM prêt à être tracté par une motoneige, avec en rouge le support de la bobine d'émission ($4 \times 4 \text{ m}^2$) et en blanc la bobine de réception ($1 \times 1 \text{ m}^2$). Juste derrière le robot FrostyBoy et le second détecteur TEM. photo : Rune Ellerup Kraghede (Université d'Aarhus)

⁹ Il est important de noter que toutes les détections en-dessous du niveau de cette fausse alarme confirmée ne sont pas forcément aussi des fausses alarmes, c'est juste plus probable qu'elles en soient.

RECHERCHE DE DÉBRIS DE RÉACTEUR DU VOL AF66 ENFOUIS SOUS LES NEIGES DE L'INLANDSIS DU GROENLAND : UTILISATION D'UN RADAR AÉROPORTÉ POUR LE SONDAGE D'UNE GRANDE SURFACE

Le robot s'avéra incapable de tracter le capteur TEM¹⁰, il fut donc converti pour transporter un GPR afin de cartographier les crevasses en éclaircur.

Tracté par une motoneige, le capteur TEM ne pouvait pas être utilisé en déplacement à cause du parasitage électrique et des vibrations. Néanmoins, le capteur TEM repéra facilement le morceau de moyeu enterré par le GEUS plus d'un an plus tôt et mesura un déplacement de 63 m (± 5 m) depuis le 6 avril 2018 compatible avec la vitesse de 60 m par an mesurée par satellite dans la zone.

Pour des raisons de facilité d'accès, les deux candidats secondaires ont été explorés en premier. Le candidat secondaire situé hors des champs de crevasse n'a pas donné de réponse au détecteur TEM indiquant qu'il s'agissait sans doute d'une grosse lentille de glace. L'autre candidat secondaire a été aussi considéré comme négatif, même s'il n'a pas été éliminé de façon définitive¹¹.

Le robot fut enfin envoyé mesurer des profils GPR selon des trajectoires nord-sud autour de la position du candidat 1. L'objectif primordial était de recalculer la position des crevasses par rapport au réseau visibles sur les images SETHI prises l'année précédente et déterminer des positions d'atterrissage possibles en vue d'un accès par hélicoptère (d'après la densité des crevasses, le risque d'atterrir au hasard sur une crevasse était estimé à 10%). Un écho isolé fut observé sur ces profils au voisinage de la position attendue (63 m au sud de la position le 6 avril 2018) pour le candidat (sur les sondages GPR, une crevasse apparaît comme une pile d'hyperboles, l'écho isolé apparaissant comme une seule hyperbole, voir Figure 14).

L'équipe de l'Université Aarhus démontra les bobines d'émission et de détection afin de pouvoir les transporter par hélicoptère vers la position du candidat 1 et y déploya le système de détection à même le sol (voir Figure 15). La première mesure donna un signal confirmant sans ambiguïté la présence d'une masse métallique à environ 4 m de profondeur. En déplaçant de quelques mètres le détecteur à la main, le maximum de détection fut localisé et marqué avant que l'expédition ne quitte les lieux après avoir aussi marqué les crevasses voisines à l'attention de l'expédition de récupération ultérieure (voir Figure 16).

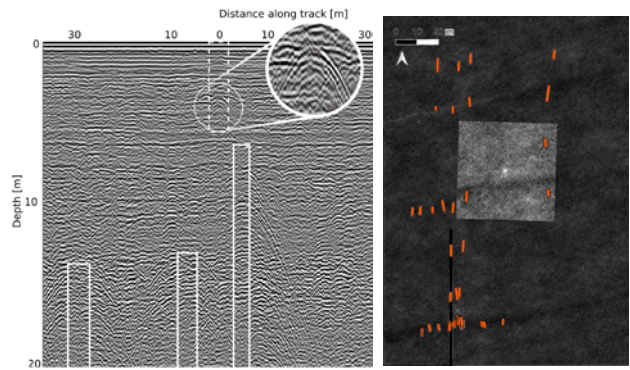


Fig. 14 À gauche, exemple de profil GPR montrant les poches d'air des crevasses (rectangles blancs) et l'écho isolé (cercle). À droite, image SETHI recalculée grâce aux détections GPR sur tous les passages du robot (orange). L'encart indique la position détectée le 6 avril 2018, la croix indique la position finale du fragment suite au déplacement du glacier. Le trait noir correspond au sondage de gauche. photo : Ken Mankoff GEUS et ONERA



Fig. 15 Détecteur TEM simplifié dans un hélicoptère (gauche) et déployé à la position du candidat no 1 (droite). La bobine d'émission est maintenue en place par des tiges de bambou et du ruban adhésif. photo : Thue Bording Université d'Aarhus

¹⁰ La puissance de son moteur était réduite de moitié en raison des basses températures et de la faible pression à cette altitude (il fallut aussi hélicopter un second générateur électrique pour cette raison).

¹¹ Le ré-examen des mesures a montré que le recalage du réseau de crevasses entre le 6 avril 2018 et mai 2019 était probablement décalé d'une crevasse vers le Nord et que donc le capteur est passé à une dizaine de mètres de la cible, ce qui est proche de la distance maximum de détection possible.

SCIENCES ET TECHNIQUES AEROSPATIALES

RECHERCHE DE DÉBRIS DE RÉACTEUR DU VOL AF66 ENFOUIS SOUS LES NEIGES DE L'INLANDSIS DU GROENLAND : UTILISATION D'UN RADAR AÉROPORTÉ POUR LE SONDAGE D'UNE GRANDE SURFACE



Fig. 16 Maximum de détection TEM (fanions et cercle rouges) et bords des crevasses voisines (fanions noirs).
photo : Thue Bording (Université d'Aarhus)

En raison de la proximité immédiate d'une crevasse, la récupération du fragment a été confiée à des sauveteurs islandais spécialisés dans les interventions sur glaciers qui ont opéré encordés. Après avoir excavé 20 tonnes de neige et traversé les deux couches de glace estivales à la tronçonneuse, le fragment a été atteint vers 4 m de profondeur le 1er juillet 2019 et finalement dégagé à l'air chaud afin de préserver tout indice sur le mécanisme de rupture (voir Figure 17).



Fig. 17 Dessus : Fragment de moyeu pendant son dégagement à l'air chaud.
photo : Dirk Van As (GEUS/Greenland Guidance)

CONCLUSION

L'examen du fragment de moyeu ainsi récupéré a permis d'identifier que la rupture s'est produite en fatigue à partir d'un amorçage subsurfacique localisé dans une zone microtexturée environ au milieu d'un logement de pied d'aube. L'analyse (encore en cours) de cet accident a déjà permis d'adapter le plan d'inspection des moyeux de réacteurs GP7200 au mécanisme effectif de la rupture du 30 septembre 2017.

La détection puis la récupération de cette importante pièce à l'enquête est le fruit de la coopération et du travail intensif de nombreuses équipes autour du BEA¹² et constitue une contribution significative à la sécurité du transport aérien. L'expérience acquise pourra aussi resservir en cas d'accident aérien sur cette route polaire de plus en plus fréquentée.

RÉFÉRENCES

- [1] RAPPORT TECHNIQUE, Accident de l'Airbus A380 immatriculé F-HPJE et exploité par Air France, survenu le 30/09/2017 en croisière au-dessus du Groenland, Octobre 2017 - Juin 2018, Phases de recherche I et II https://www.bea.aero/uploads/tx_elyextendttnews/Rapport_Technique_du_F-HPJE_FR.pdf
- [2] Cantalloube, H.; Nahum, C.: How to compute a multi-look SAR image?, CEOS SAR Workshop, ESA special publications Vol. 450, 2000, pp. 635-640
- [3] Mankoff, K. et al.: Search and recovery of aircraft parts in ice sheet crevasse fields using airborne and in-situ geophysical sensors. *J. of Glaciology* in press as of Jan. 2020, pp. 28
- [4] Lütjering, G.; Williams, J.C.: Titanium. second ed. Springer Berlin, 2007. ■

¹² Contributions & Remerciements : – BEA/NTSB/Havarikommission (enquête accident), – Engine Alliance (cinétique d'éjection/expertise du fragment retrouvé), – AVDEF pour la mise en œuvre de l'avion – Airbus (financement/support de la campagne ONERA), – ArianeGroup/NTSB (balistique), – GEUS expéditions polaires dirigées par Nanna Karlsson (cibles sur zone, relevé GPR) et Ken Mankoff (confirmation de détection, récupération), – l'équipe SAR de l'ONERA dirigée par Pascale Dubois-Fernandez (détection) – l'équipe de Thue Bording à l'Université d'Aarhus (confirmation de détection), – les secouristes de montagne islandais (récupération). Mais aussi le Commando Arctique pour son précieux support opérationnel et le Polar Geospatial Center pour les modèles numériques d'altitude du terrain sous les fonds NSF OPP 1043681, 1559691 & 1542736

L'ANALYSE DE LA COMMISSION SIGMA2 D'UN CAS TROUBLANT D'OBSERVATION AÉRIENNE AU CHILI

Luc Dini (Président de la CT SIGMA2) avec la contribution du général de l'Armée de l'air (2^{es}), Jean-Marc André et de Joël Deschamps (expert optronique et de signature Infrarouge, retraité de l'ONERA)-membres de la Commission SIGMA2- avec la contribution d'Amine Derragui –étudiant de l'école 42 – travaillant sur l'extraction et la restitution de données informatiques radar et leur visualisation.

INTRODUCTION

Depuis 2013, la Commission technique SIGMA2 mène des travaux sur les Phénomènes Aérospatiaux Non Identifiés (PAN) suivant plusieurs axes : la recherche documentaire sur les PANs, l'identification de cas d'observation assortis de données techniques, la recherche d'accord avec des organismes détenteurs d'archives et de données physiques, l'étude des phénomènes physiques en lien avec les PANs et les techniques d'observation radar et optique.

Parmi les coopérations entamées par 3AF/SIGMA2, celle avec le CEFAA (Comité de Estudios de Fenómenos Aéreos Anómalos) chilien (entité dépendant de la DGAC chilienne pour l'étude des PANs, similaire au CNES/GEIPAN français) a débuté en 2013, suivie d'une rencontre en octobre 2014 à Paris¹. Le 11 novembre 2014, un hélicoptère Cougar (voir Figure 1) de la marine chilienne observe un PAN : c'est le cas « Cougar » qui fut adressé par le CEFAA dès juillet 2015 au CNES/GEIPAN, à l'équipe IPACO² et à 3AF/SIGMA2, accompagné d'une vidéo infrarouge et visible. Aucune donnée radar n'était disponible à l'époque, mais il était précisé que l'hélicoptère avait pu être observé au radar, à l'exception de tout autre objet à proximité. Le CEFAA en concluait que le phénomène semblait « invisible » au radar.

SIGMA2 a remis un rapport en français et en anglais sur le cas Cougar en mars 2017, qui est disponible sur le site 3AF (rubrique SIGMA2).



Figure 1 - Hélicoptère Cougar chilien

¹ Voir la lettre 3AF N°12 de décembre 2014 et l'article Rencontre sur les Fenomenos Aéreos Anomalous » à Paris

² IPACO : IPACO est un logiciel de traitement d'image mis au point par le Dr François Louange avec Antoine Cousyn et Geoffrey Quick pour étudier les images de PANs et déceler les éventuels montages. Le Dr Louange fait partie du réseau d'experts du GEIPAN depuis les débuts, a conduit l'audit du SEPRA, et participe également aux travaux de SIGMA2. Rapport d'analyse IPACO <http://www.ipaco.fr/RapportChileanNavyCEFAA.pdf>.

PREMIÈRE ANALYSE DU CAS EN 2015

L'analyse de la vidéo par l'équipe IPACO fournie en septembre puis en novembre 2015 concluait à l'observation d'une source infrarouge faite de deux points chauds (voir Figure 2), dont l'écartement angulaire décroissait linéairement avec le temps. Ceci suggérait une source infrarouge en éloignement à vitesse constante sur une route quasi parallèle à celle de l'hélicoptère. L'hypothèse (du CEFAA) d'une distance inférieure à 55 km permettait de conclure à un porteur moyen-courrier dont la distance inter réacteurs (environ 11 m) était cohérente avec l'écartement angulaire des deux points chauds mesuré.

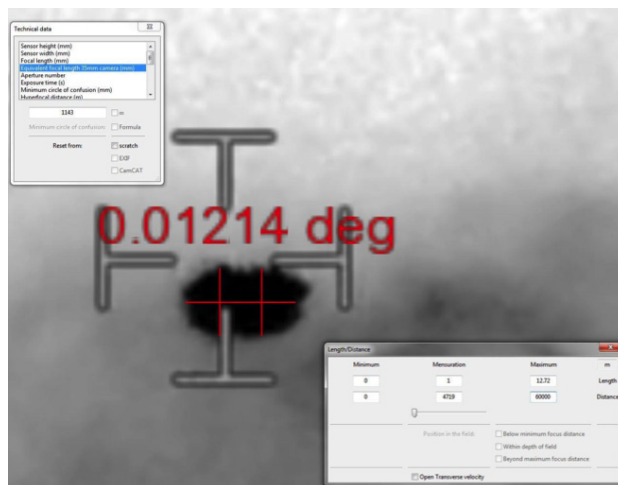


Figure 2 – Visualisation des points chauds - extrait rapport IPACO

Un troisième point chaud (voir Figure 3) était vu ponctuellement et supposé être un APU (« Auxiliary Power Unit », moteur générateur d'énergie) ou une réflexion solaire sur la cellule. Une traînée (voir Figure 4) a également été observée deux fois. L'objet observé étant supposé voler à l'altitude du Cougar (4500 ft), l'hypothèse d'une traînée de condensation a été rejetée (altitude trop basse) au profit d'une vidange de liquide, supposée former une traînée réfléchissant elle aussi le rayonnement solaire.

SCIENCES ET TECHNIQUES AÉROSPATIALES

L'ANALYSE DE LA COMMISSION SIGMA2 D'UN CAS TROUBLANT D'OBSERVATION AÉRIENNE AU CHILI

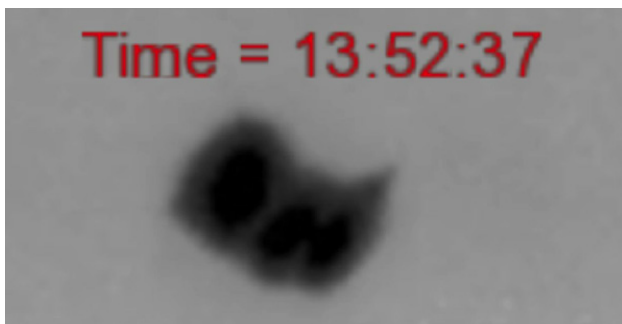


Figure 3 - Visualisation des 3 points chauds - extrait rapport IPACO



Figure 4 - Visualisation du panache - extrait rapport IPACO

Une analyse très rapide et sommaire fut faite par quelques experts de 3AF/SIGMA2 et transmise au CEFAA en septembre 2015. Globalement en accord avec les conclusions d'IPACO, elle soulignait l'existence de deux points chauds intenses correspondant à des sorties de réacteurs. Ces points très chauds créaient des effets de saturation des traitements de la caméra, se traduisant par un phénomène de « blurring ou de flou », qui peut être confondu avec le flou dû à un effet de plasma, comme cela a pu être évoqué par les experts chiliens par la suite. La traînée pouvait être l'effet d'une réflexion solaire sur un épandage liquide ou une traînée de condensation. L'absence de données radar était regrettée pour mieux estimer les distances et permettre de confirmer « l'invisibilité radar » de l'objet. Toutefois, comme le souligne l'article du Huffington Post du 5 janvier 2017³, les experts du CEFAA ont maintenu leurs interrogations vis-à-vis de l'analyse faite par IPACO (absence d'écho radar, formation de traînée de condensation impossible à l'altitude de l'hélicoptère, épandage/vidange de liquide interdite) et confirmé leur propre conclusion sur le caractère extraordinaire du cas.

³ http://www.huffingtonpost.com/entry/groundbreaking-ufo-video-just-released-from-chilean_us_586d37bce4b014e7c72ee56b

⁴ La limite de visibilité existant dans le spectre visible n'est pas transposable en infrarouge. La limite de portée infrarouge est seulement liée à l'équation de portée qui implique la signature infrarouge de l'objet (intense dans le cas d'un gros porteur), la transmission atmosphérique, la distance et la sensibilité de la caméra.

UNE ANALYSE APPROFONDIE RADAR ET OPTRONIQUE DU CAS EN 2017

Suite à l'article paru dans le Huffington Post, le CEFAA a transmis, à la demande de SIGMA2, de nouvelles données très utiles, qui ont permis de progresser en combinant les données radar et d'observation infrarouge:

1°) Les données radar manquantes ont permis de reconstituer les trajectoires du trafic aérien (voir Figure 5), autour du Cougar.

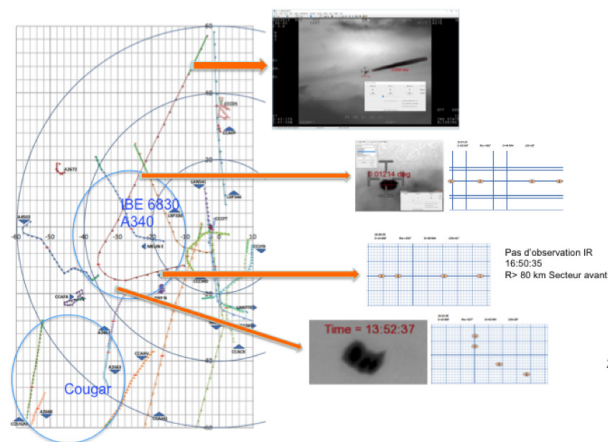


Figure 5 - Trajectoires reconstituées du Cougar et du vol IBE 6830 (Airbus A340) - points d'observation spécifiques et images associées- géométrie des points chauds dans le plan image

2°) Les deux points chauds observés par la caméra infrarouge peuvent correspondre à l'émission thermique des tuyères de réacteur d'avion portées à haute température, vues en secteur arrière par la caméra. Cela peut être aussi celle de deux couples de tuyères d'un gros porteur quadri-réacteur, chaque couple de tuyères restant confondu dans la même pixel de la caméra.

3°) En levant la contrainte de distance de visibilité maximale (55 km) supposée par le CEFAA, qui n'est pas applicable en infrarouge⁴, nous avons trouvé parmi les pistes radar plusieurs candidats possibles. Notamment, le vol IBE6830 (Airbus A340 en procédure de montée après décollage de Santiago), qui suit une trajectoire compatible avec l'évolution angulaire en azimut et en site dans le champ de la caméra. La géométrie relative d'observation entre l'hélicoptère et l'avion (voir Figure 5) est cohérente

L'ANALYSE DE LA COMMISSION SIGMA2 D'UN CAS TROUBLANT D'OBSERVATION AÉRIENNE AU CHILI

y compris dans la phase de virage de l'avion à environ 77 km (distance minimale d'observation) à 16 :52 :38. L'avion entame alors un virage avec une légère inclinaison et la géométrie relative montre que l'avion se présente d'abord de face (rayonnement faible), puis démasque les points chauds (tuyères), qui vont être observés ensuite par le secteur arrière (début de l'observation infrarouge, rayonnement intense).

4°) Nous avons étudié cette phase particulière et reconstitué la cinématique relative de l'hélicoptère et de l'avion. Nous avons également étudié l'angle d'aspect de l'avion vu de l'hélicoptère ainsi que les positions relatives des réacteurs dans le plan image de la caméra (plan orthogonal à la ligne de visée). A 16 :52 :38, les deux réacteurs gauches peuvent être vus comme un point chaud unique dans la cellule de résolution de la caméra, tandis que les deux réacteurs droits peuvent être séparés en deux points chauds distincts et plus petits. Cela explique donc les trois points chauds identifiés par l'équipe IPACO. Ils ne seront séparés que pendant cette courte phase. Avant, l'avion était plus éloigné (en rapprochement) et vu de face. Après, il s'est éloigné en phase de montée, observé par l'arrière laissant apparaître deux points chauds principaux, les groupes de moteurs gauche et droit.

5°) La traînée observée plus tard est *a priori* une traînée de condensation. En effet, l'analyse de la trajectoire de l'IBE6830, montre une procédure de montée. L'avion, observé sous un site légèrement positif (2.75°) par l'hélicoptère, se trouve à une altitude plus élevée lors de l'émission des panaches (entre 26,8 et 27,4 kft puis entre 28,6 et 29,1 kft) à une distance de l'ordre de 180 km. La datation des traînées a été comparée aux analyses météorologiques et coïncide avec la traversée de couches froides indiquées par l'emagramme⁵. La traînée de condensation est faite de gouttes d'eau solidifiées, qui réfléchissent fortement le rayonnement solaire dont la température apparente est très élevée (5900 K). Cela explique que le niveau de rayonnement de la traînée sur les images soit comparable à celui des points chauds de l'avion (sorties de réacteur). En outre, la position particulière du soleil favorise un rayonnement quasi rasant par rapport à l'axe du panache, ce qui amplifie encore le phénomène de réflexion du rayonnement solaire.

Par ailleurs, l'orientation de la traînée vis-à-vis de la

vitesse de l'avion est cohérente avec la composition des vitesses de l'avion et du vent qui déporte la traînée de condensation.

CONCLUSION GÉNÉRALE ET PERSPECTIVE SUR D'AUTRES CAS AVEC L'ÉCOLE 42

En conclusion, l'objet a été vu au radar, mais la distance d'observation infrarouge était supérieure à la limite supposée de 55 km. Les différents observables sont compatibles entre eux. De notre point de vue, le PAN n'est autre qu'un Airbus A340. La caméra du Cougar détecte donc les tuyères chaudes en secteur arrière et les traînées de condensation.

Cette analyse ne révèle donc pas un cas de PAN extraordinaire. Elle est par contre très instructive pour montrer qu'une analyse basée uniquement sur une observation visuelle ou optique par un témoin ou par une caméra, peut conduire à des conclusions erronées par le manque de données objectives auxquelles se substitue l'interprétation des témoins, notamment pour l'estimation des distances. La combinaison d'observables issus de techniques différentes, notamment radar et optiques, est particulièrement utile grâce à leur complémentarité : la situation radar permet de lever des ambiguïtés sur les distances et vitesses et d'affiner la position des aéronefs, d'identifier les signatures radar (pour les radars primaires) ou de révéler un phénomène inconnu. L'image visible ou infrarouge, sans information de distance, permet néanmoins de décrire la forme, l'énergie rayonnée et la carte des points chauds du phénomène.

La Commission technique SIGMA2 poursuit l'étude d'autres cas, notamment celui d'une observation de PAN à Jersey en 2007⁶. Ce cas basé principalement sur une observation visuelle par deux pilotes nécessite d'être approfondi grâce aux données des radars primaires de Jersey. Les fichiers informatiques jusqu'alors inexploités ont été récupérés par SIGMA2 qui a entamé une coopération avec l'école 42 (l'école de Geeks fondée par Xavier Niel) pour leur exploitation. Un des jeunes étudiants de 42, Amine Derragui (voir encadré), s'est lancé dans l'extraction et le décryptage de ces données. Nous espérons pouvoir obtenir prochainement une visualisation des deux échos radars de grande dimension qui auraient été observés par le contrôleur dans la zone d'observation signalée par les pilotes.

⁵ Nous attendons une confirmation des spécialistes de météorologie aéronautique pour confirmer les conditions de formation des traînées de condensation. A ce jour, l'analyse ne permet pas de l'affirmer avec certitude, ni de l'infirmer, mais le recoupement entre la trajectoire, les points chauds et la traversée des tranches d'altitude où sont présentes des zones d'air froid laisse peu de place au doute.

⁶ Le cas de Jersey est cité dans le rapport d'avancement 2015 de la Commission SIGMA2 (disponible pour les membres de 3AF) qui relate une observation de deux PANs brillants et de forme allongée entre Guernesey et Jersey, réalisée par les pilotes de deux avions régionaux. Le contrôleur a également observé deux échos radar. Les fichiers de données radar ont été récupérés par SIGMA2 grâce à la contribution de M. Rob Jeffs.

L'ANALYSE DE LA COMMISSION SIGMA2 D'UN CAS TROUBLANT D'OBSERVATION AÉRIENNE AU CHILI

Amine Derragui, étudiant de l'école 42, explique les travaux sur l'extraction et la visualisation des données radar.

Avant de pouvoir exploiter les données radar d'un fichier dans un outil de visualisation, il faut d'abord les comprendre et montrer à la machine comment "lire" ce fichier.

Que ce soit pour du son, du texte, une feuille de calcul Excel ou des données radar, un fichier est constitué d'une suite de "0" et de "1" (bits) incompréhensibles pour l'Homme mais aussi pour un ordinateur. Pour que celui-ci puisse comprendre ce fichier, il faut lui indiquer le "séquençage" des bits et comment les traiter. Autrement dit, il faut indiquer le formatage du fichier.

En pratique, on trouve à la fin d'un fichier, son extension (.txt, .jpg...). Elle permet au système d'exploitation de faire appel à un programme auquel cette extension a été associée. Ce programme, sait comment traiter la suite de bits pour obtenir le résultat escompté. Ceci implique donc, que pour pouvoir lire correctement un fichier, il faut un programme spécifique.

Pour les formats les plus couramment utilisés, des standards ont été adoptés et il existe donc de nombreux programmes permettant de les lire.

Mais pour les formats plus spécifiques, propres à une application particulière ou à un fabricant, il faut le programme fourni par le concepteur du format ou à défaut, le formatage de celui-ci.

Dans le cas des données radars, il y a potentiellement autant de formats que de modèles de radar voire de clients. Donc, hormis pour les constructeurs, le format des fichiers contenant les données radars est inconnu. Sans l'aide des dits constructeurs, il faut dans un premier temps analyser le fichier et trouver le "séquençage" des bits. Cette phase est très chronophage et peut prendre des mois, sans garantie de succès. Dans un second temps, il faut concevoir le programme qui va extraire les données selon le modèle trouvé dans la première phase et les rendre exploitables pour l'outil de visualisation. In fine, tout repose sur la phase d'analyse; afin de traiter tout fichier de données radar aux formats différents, il est primordial de la rendre plus efficiente et de l'automatiser au maximum.

Pour le cas de Jersey, l'analyse des données radar Elvira a été réalisée par Rob Jeff, le programme d'extraction et d'exploitation est en cours de finalisation.

Le travail se tourne maintenant vers l'outil de visualisation dont l'objectif est, entre autres, de restituer les données de manière visuelle pour tous les cas dont les fichiers radars ont pu être récupérés et analysés. ■

Points de vue croisés sur les phénomènes aérospatiaux non identifiés observés en infrarouge et radar

par Luc Dini, président de la Commission technique SIGMA 2, Jean-Marc André, général de brigade aérienne, ancien pilote et spécialiste de défense aérienne, Joël Deschamps, retraité de l'ONERA, expert et ancien chargé de recherche sur l'observation et mesures de signatures infrarouges

Résumé

L'observation de Phénomènes Aérospatiaux Non identifiés (ou PAN) n'est pas nouvelle, même si elle reste mystérieuse à bien des égards. Depuis les années 30-40 (voire bien avant) de nombreux témoignages ont été rapportés et des enquêtes menées dans différents pays par les armées de l'air (rapport Blue Book de l'US Air Force, programme Condigm UK, travaux du GEIPAN en France depuis 1977, programme SETKA en Russie), etc.) rassemblant des observations visuelles, radar, des photos ou des films. Plus récemment, les caméras infrarouges se sont déployées, notamment sur les avions de surveillance ou sur les chasseurs, procurant de nouveaux enregistrements, parfois très étonnants. Cependant l'infrarouge très utile pour détecter un objet, pour l'identifier, nécessite d'autres moyens pour estimer les distances et vitesses notamment, comme les radars. Cet article a pour but de décrire trois cas d'observations de PAN avec des moyens IR croisés couplés à des observations radar, en commençant par le cas Cougar (2011, Marine Chilienne), Aguadilla (2013, Porto Rico, avion de surveillance côtière), et Nimitz (observations IR par des F18 de l'US Navy et des radars du Nimitz et du Princeton en 2004, puis en 2014-2015 à nouveau par des F-18). Ce dernier cas est le plus fameux et défraye la chronique depuis décembre 2017, avec la publication d'articles dans le New York Times, accompagnée de la révélation d'un programme de recherche secret AATIP¹ du Pentagone sur les UFOs (Unidentified Flying Objects). Ces vidéos IR (reconnues authentiques par le Pentagone en avril 2020) fournissent des données en 2D. Elles nécessitent de connaître aussi la position de la plateforme d'observation, son attitude et les données de contexte, notamment radar, pour reconstituer les distances et en déduire une cinématique en 3D.

¹ AATIP : Advanced Air THreat Investigation Program

² CEFAA : organisme dépendant de l'aviation civile chilienne en charge des études de PANx

³ Le groupe IPACO avait exploité la vidéo est identifié deux à trois points chauds faisant penser à un biréacteur moyen courrier. Toutefois l'émission du panache par un avion volant à 4000 m restait sans explication.

LE CAS COUGAR : 2011 - CHILI

Le cas Cougar date du 11 Novembre 2011 et nous a été transmis par le CEFAA² en 2014. L'étude que nous avons menée est relatée dans la lettre 3AF N°27 et sera détaillée dans le rapport à venir de la Commission technique SIGMA2. Pour résumer, un hélicoptère chilien observe pendant deux minutes environ un phénomène inconnu avec sa caméra IR. La vidéo infrarouge, de qualité moyenne, présente des effets de saturation et permet néanmoins une exploitation des images. Elle fait ressortir deux ou trois points chauds³, puis l'émission d'un panache. Les données radar fournies par le CEFAA brésilien ont pu être exploitées, permettant de connaître le trafic aérien régional, d'être recoupées et permettre l'identification et l'estimation des distances (voir Figure 1). Ce cas est exemplaire du point de vue de la restitution de l'observation, mettant en défaut la conclusion à un OVNI faite par les Chiliens.

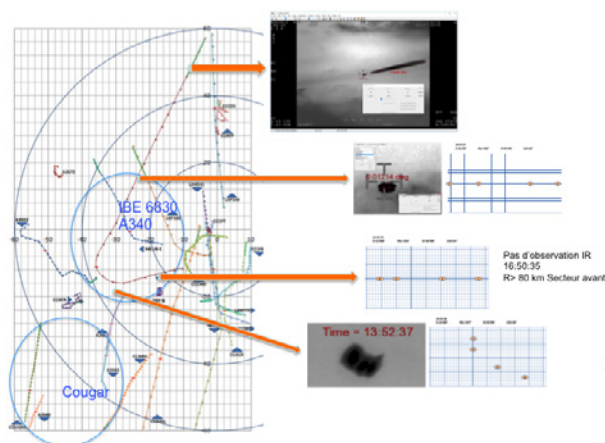


Figure 1 - Trajectoires reconstituées du Cougar et du vol IBE 6830 (Airbus A340) - points d'observation spécifiques et images associées - géométrie des points chauds dans le plan image

SCIENCES ET TECHNIQUES AÉROSPATIALES POUR LA SANTÉ

POINTS DE VUE CROISÉS SUR LES PHÉNOMÈNES AÉROSPATIAUX NON IDENTIFIÉS OBSERVÉS EN INFRAROUGE ET RADAR

LE CAS AGUADILLA

Le rapport « 2013 Aguadilla Puerto Rico UAP » a été soumis à la commission 3AF/SIGMA2 en mai 2015, accompagné de ses données (données radar et vidéo infrarouge) par un groupe scientifique intitulé Scientific Coalition For UFO (SCU). Il peut être consulté via le lien suivant : https://24d63f27-e686-40c4-adce-0870e805ceec.filesusr.com/ugd/299316_9a12b53f67554a008c32d48eff9be5cd.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 IR par un avion de surveillance côtière et de données radar de contrôle aérien civil.

Les observations

L'avion de surveillance côtière est alerté par la tour de contrôle de la présence d'une lumière rouge inconnue en rapprochement vers l'aéroport. L'avion fait deux boucles et enregistre avec sa camera infrarouge (et le télémètre laser) un objet pendant environ deux minutes. La vidéo IR (voir Figure 2) est de mauvaise qualité du fait du traitement d'image (saturation, inversions de contraste) et ne permet pas d'exploiter précisément les images, les formes ou de trouver des points de recoupement dans l'image et sur la carte pour estimer la distance et reconstituer la trajectoire du phénomène en 3D. De plus le télémètre laser mesure en réalité la distance avion-point d'impact du laser au sol, ce qui permet de restituer l'enveloppe des lignes de visée Camera et laser sur laquelle l'objet se déplace. Cette restitution est conforme au relief du terrain, mais la position du phénomène et son altitude restent inconnues ?

Nous avons également tenté de recouper les observations IR et les données radar (voir Figures 3 et 4) pour obtenir la position de l'objet. Malheureusement, les données radar font apparaître une série de plots en déplacement de l'est vers l'ouest, correspondant principalement à des déplacements de nébulosités poussées par le vent. Certains pourraient correspondre à la position de l'objet, mais ponctuellement et sans certitude, compte tenu de la position de l'avion dont les échos radar s'éloignent à l'ouest. En revanche, la position de l'avion relevée par le radar et celle inscrite sur la vidéo, ainsi que le défilement du paysage, coïncident ce qui confirme l'authenticité de la vidéo et de l'observation.

L'absence de trace radar pourrait s'expliquer soit par la faible signature radar du phénomène, soit par l'absence de mesures permettant d'identifier la distance ou l'altitude du phénomène. Ce qui nous amènera à faire une restitution basée cette fois sur trois hypothèses d'altitude de vol pour simplifier :

- Cas d'une trajectoire basse altitude avec un vol rasant à environ 100 ft, ce qui pourrait correspondre à un vol rasant au-dessus de l'eau en final. L'objet n'est pas visible au radar, ce qui pourrait attester l'hypothèse de vol rasant, même si la faible signature pourrait le justifier.
- Cas d'un vol local à moyenne altitude (environ 600 ft), correspondant à une trajectoire locale en descente lente autour du point de recoupement des lignes de visée de l'avion. L'objet pourrait être visible au radar, or il ne l'est pas.
- Cas d'une trajectoire haute altitude à proximité de l'avion, où l'avion et l'objet évolueraient sur deux trajectoires concentriques et proches. L'objet volant haut pourrait être visible au radar ; il ne l'est pas, alors que l'avion est visible au radar.



Figure 2 – Image IR de l'objet avec effet d'inversion de contraste du fond de paysage IR (effet de traitement local d'image). L'objet est à droite et à la base de la croix de visée

SCIENCES ET TECHNIQUES AÉROSPATIALES POUR LA SANTÉ

POINTS DE VUE CROISÉS SUR LES PHÉNOMÈNES AÉROSPATIAUX NON IDENTIFIÉS OBSERVÉS EN INFRAROUGE ET RADAR

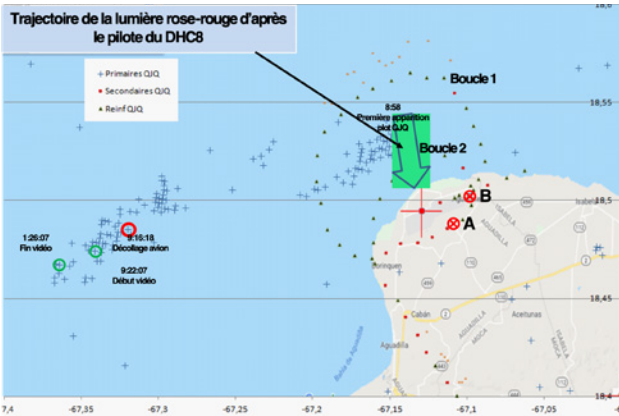


Figure 3 – Trajectoire du DHC-8 restituée à partir de la vidéo (en vert) superposée à la carte des échos radar

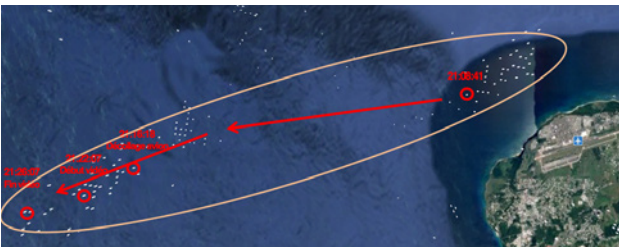


Figure 4 – Positions successives de l'écho qui a alerté les contrôleurs avec une dérive des plots vers l'Ouest

Des phénomènes étranges ont été constatés sur certaines séquences de l'observation IR :

- L'inversion de contraste (voir Figure 2) lors du survol du plan d'eau (liée au gain de traitement d'image local).
- L'occultation temporaire ou la forte atténuation de

la signature thermique du phénomène observé en final sur fond de mer (voir Figure 5) . Plusieurs interprétations sont possibles selon les trajectoires et les altitudes envisagées. Pour un objet lent évoluant autour de 600 ft, l'occultation serait liée à des nuages, mais ceux-ci devraient masquer aussi le fond de paysage et pas seulement l'objet...Or ce n'est pas le cas, ce qui ne conforte pas l'hypothèse d'une trajectoire finale moyenne altitude (cas d'une trajectoire locale lente). Le SCU nous a transmis son rapport faisant l'hypothèse d'une trajectoire très basse au-dessus de l'eau, avec un plongeon « sans splash », tout en montrant une trace thermique résiduelle, plus froide, de l'objet. Il serait immergé temporairement, en mouvement sous l'eau (voir Figure 6). Nous ne retenons pas cette hypothèse extraordinaire qui n'est pas physique (l'eau est opaque à l'infrarouge et devrait effacer totalement la signature thermique). Enfin, si l'on retient l'hypothèse du vol rasant au-dessus de la terre puis de l'eau, il nous paraît envisageable que l'objet puisse alors « surfer » au ras des vagues, soulever des embruns et voir sa signature thermique occultée temporairement par cet effet de brumisation (voir Figures 5 et 6) . Cette hypothèse conforterait la solution du vol rasant, qui pose cependant d'autres questions.

- Le phénomène redevient visible après le passage sur le fond de mer (survol, vol rasant ou immersion selon certains) et semble se diviser en deux taches thermiques similaires. S'agit-t-il d'une séparation physique de deux points chauds alors qu'on en observait qu'un ? Ou

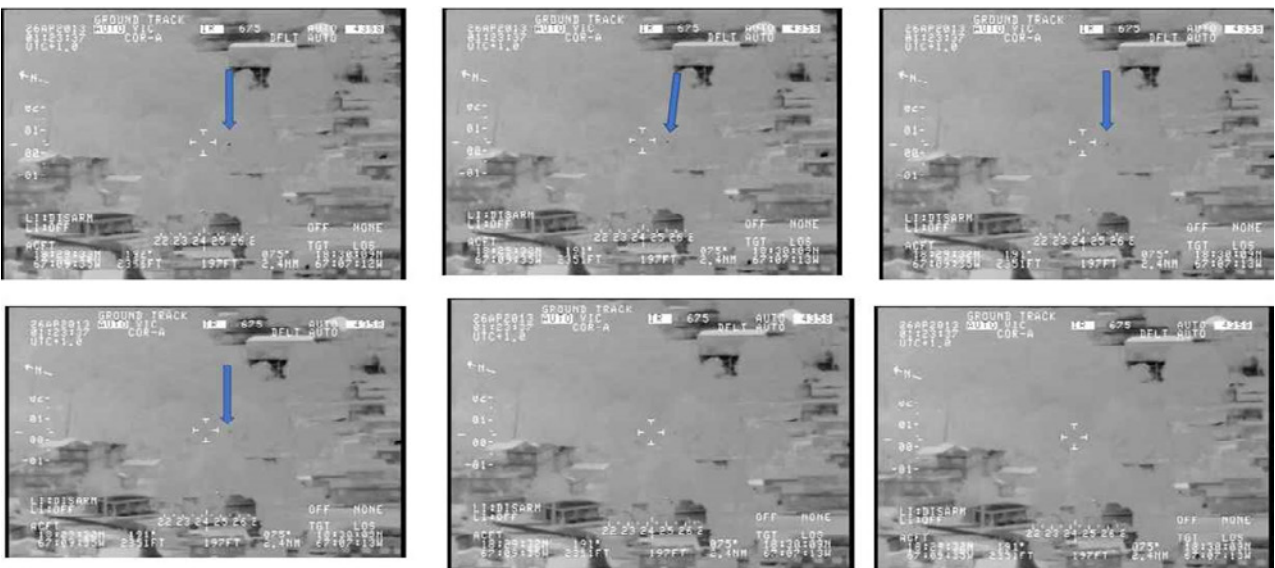


Figure 5 – Suite d'images montrant l'occultation temporaire de l'objet durant le survol du fond de mer

SCIENCES ET TECHNIQUES AÉROSPATIALES POUR LA SANTÉ

POINTS DE VUE CROISÉS SUR LES PHÉNOMÈNES AÉROSPATIAUX NON IDENTIFIÉS OBSERVÉS EN INFRAROUGE ET RADAR

d'une réflexion parasite dans l'objectif ; normalement le reflet est en général moins intense que la source ? Ou bien s'agit-t-il d'une lanterne Thaï avec deux parties chaudes comme certains l'ont pensé. Le mystère reste entier... Nous pourrions aussi imaginer un scénario de film de James Bond avec un drone de reconnaissance, revenant de mission et recueilli par une équipe de SEALs équipée de deux jet-skis (deux points chauds), mais ce scénario est assez fantaisiste, quoique moins extraordinaire que celui d'un OVNI immergé, surgissant de l'océan pour se diviser en deux objets. Ce n'est pas notre hypothèse ici.

Figure 6 – L'une des images semble montrer l'immersion de



l'objet (selon le SCU), sans splash tout en laissant une trace thermique atténuée

Les hypothèses de cinématique de l'objet

En l'absence de recoupement des observations sur l'altitude et la distance de l'objet, nous avons reconstitué l'enveloppe des lignes de visée (voir Figure 7) de l'avion au « target » (point d'impact de la tache laser au sol), puis fait des hypothèses de profil de vol, et notamment d'altitude. Nous avons alors tracé la trajectoire supposée de l'objet répondant à ces hypothèses cinématiques tout en les croisant avec les lignes de visée, révélant alors une trajectoire possible sur cette enveloppe (voir les Figures 8 à 12).

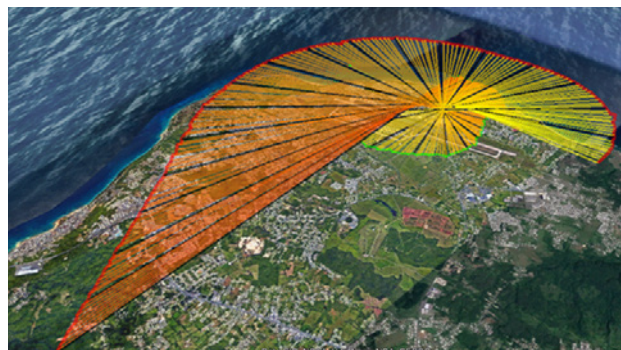


Figure 7 – En rouge : trajectoire du DHC-8 ; en vert : positions du target



Figure 8 – La projection de la trajectoire du PAN est dans la zone jaune

Trois types de profil de vol ont été étudiés autour d'hypothèses de taux de descente et d'altitude :

- **Profil de vol très proche de celui de l'avion.** Cette hypothèse d'école qui consiste à supposer les trajectoires avion et objet (altitude avion de moins de 100 ft) proches et parallèles en tournant autour de l'aéroport. Elles ne correspondent pas à un scénario crédible, la distance avion objet étant alors très faible. On n'explique ni la trajectoire, ni le scénario et encore moins la piètre qualité de l'image, alors que l'objet serait observé à courte distance et devrait bénéficier d'une meilleure qualité d'image.

SCIENCES ET TECHNIQUES AÉROSPATIALES POUR LA SANTÉ

POINTS DE VUE CROISÉS SUR LES PHÉNOMÈNES AÉROSPATIAUX NON IDENTIFIÉS OBSERVÉS EN INFRAROUGE ET RADAR

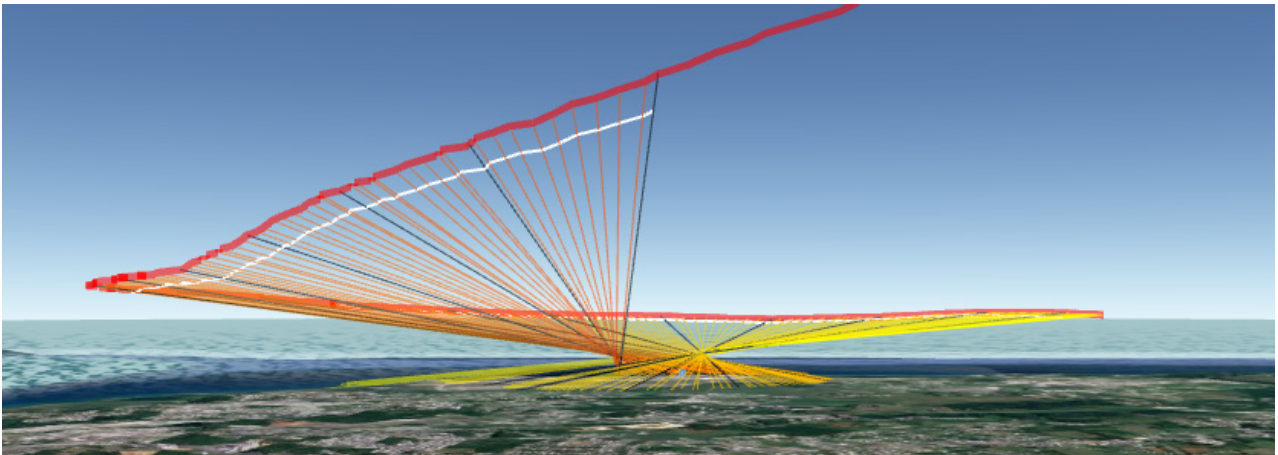


Figure 9 – Profil PAN « en accompagnement » de l'avion d'observation (on a fixé arbitrairement un différentiel d'altitude de -100 pieds par rapport à l'altitude du DHC-8).

- Profil de vol en suivi de terrain à très basse altitude** (autour de 100 ft sol) qui peut correspondre à un survol rasant de la terre puis de la mer durant la dernière phase de vol. Le profil pourrait être celui d'un micro-drone. Sa vitesse varierait de 300 km/h au début à 100-120 km/h en phase finale au-dessus de l'eau, ce qui montre une dynamique de vitesse un peu extrême en limite haute vitesse (les micro drones atteignent en général 150 km/h) mais certains drones spéciaux (dotés d'une propulsion par gaz ou micro turbo réacteur) peuvent atteindre des vitesses de 300 à 400 km/h ou plus, avec des vitesses de décollage et d'atterrissage très faibles. Rien ne dit d'ailleurs que l'objet ne pourrait partir d'une altitude plus élevée et d'une distance plus proche, donc avec une vitesse initiale plus basse en début d'observation, et un taux de descente plus important pour rejoindre l'altitude de suivi de terrain ? Ceci n'est pas étudié ni démontré. En outre la signature thermique avec un point chaud suffisamment élevé pourrait confirmer l'hypothèse d'une propulsion thermique ou avec des tuyères à gaz chaud. Il reste cependant à comprendre la présence d'un micro-drone rapide au voisinage de l'aéroport ? L'hypothèse est elle erronée ? S'agit-t-il d'un test avec un micro-drone spécial (forces spéciales). La question est ouverte et ne relève pas de nos compétences.

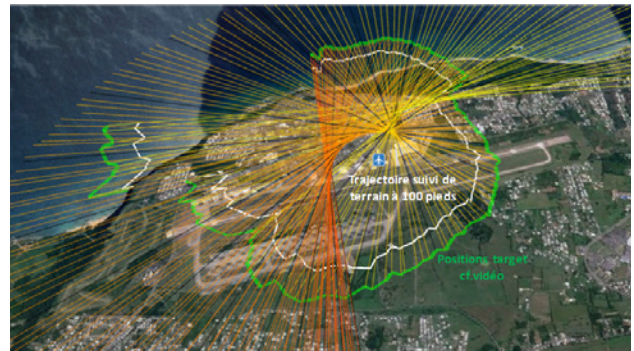


Figure 10 – En blanc : la trajectoire PAN en suivi de terrain à 100 pieds

- Profil de vol à altitude intermédiaire en descente lente** (2 ft/s) entre 800 et 1000 ft. L'objet suit une trajectoire au voisinage de l'aéroport, à très faible vitesse (18 à 40 km/h), au croisement des lignes de visées, l'avion tournant autour de la trajectoire de l'objet. La faible vitesse compatible d'un objet type ballon, drone ou ULM est cohérente avec le vent local (recoupement de direction et de vitesse), l'objet pouvant dériver lentement en descente. En revanche, si la cinématique est crédible, il y a un très faible recoupement avec les données IR : la signature thermique d'une lanterne Thaï est très faible en regard des points chauds observés. En outre l'occultation de signature (en fin de trajectoire sur fond de mer) n'est pas expliquée. À l'altitude considérée (environ 600 ft) seules des nébulosités pourraient expliquer l'occultation de l'objet, mais elles masqueraient aussi le fond de paysage (mer), qui lui, reste visible.

SCIENCES ET TECHNIQUES AÉROSPATIALES POUR LA SANTÉ

POINTS DE VUE CROISÉS SUR LES PHÉNOMÈNES AÉROSPATIAUX NON IDENTIFIÉS OBSERVÉS EN INFRAROUGE ET RADAR



Figure 11 – Trajectoire PAN pour le couple 1000 pieds/-2 pieds/s

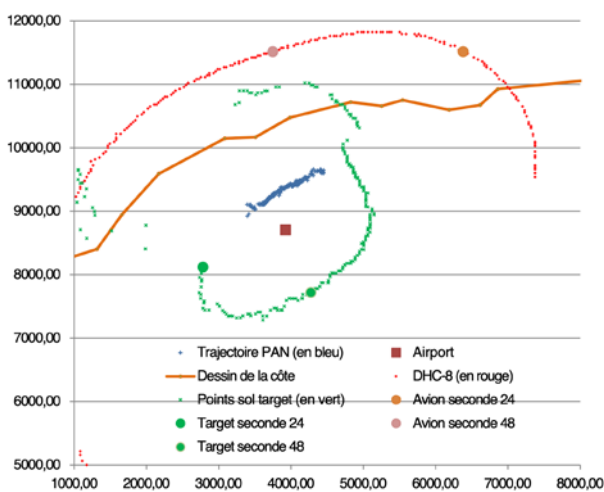


Figure 12 – Trajectoire (en bleu) pour altitude initiale de 1000 pieds et vitesse verticale de -2 pieds/s

En conclusion, nous pouvons affirmer qu'une observation infrarouge d'un PAN a été faite, et qu'elle recoupe la trajectoire de l'avion dont la trace radar est aussi confirmée. La trace radar du PAN n'est pas visible (invisible ou volant trop bas, ce qui dans ce cas confirmerait éventuellement une trajectoire très basse altitude).

Les images infrarouge confirment un point chaud qui pourrait être compatible d'une propulsion électrique ou thermique et une taille inférieure à 2 m. Cependant, du fait de leur piètre qualité, aucun recoupement ne peut être fait entre les lignes de visée, l'image et des points caractéristiques du paysage ; ce qui aurait permis de faire un recalage en distance et altitude d'une trajectoire possible. Des phénomènes d'occultation de l'objet en fin d'observation sont remarquables. Une explication par la couverture nuageuse n'est pas démontrée (le fond n'est pas masqué). En revanche, un profil de vol en suivi de terrain pourrait être compatible avec un effet de brumisation lors du vol final d'un drone au ras de la mer. Enfin, une sorte de dédoublement final des points

chauds apparaît en final ; aucune explication convaincante (séparation par rupture, réflexion parasite,...) n'est obtenue.

Du point de vue cinématique deux hypothèses se dégagent. L'une correspond à une trajectoire locale au voisinage de l'aéroport en descente lente (2 ft/s) entre 1000 et 800 ft, compatible avec celle d'un ballon ou d'une lanterne Thaï, voire d'un micro-drone, dérivant à faible vitesse en étant porté par le vent. Mais cette hypothèse, qui aurait le mérite de correspondre à un scénario simple et à une cinématique classique, n'est pas cohérente avec les données radiométriques (point chaud, occultation). L'autre hypothèse pourrait correspondre à un suivi de terrain à 100 t, au moins en deuxième partie de trajectoire ; ce qui pourrait expliquer certains phénomènes observés (point chaud, occultation temporaire de la signature en vol rasant au-dessus de la mer). Il pourrait s'agir d'un micro-drone avec des capacités de haute vitesse extrêmes (près de 300 km/h) en début de trajectoire, comme il en existe quelques prototypes. Cependant, le scénario d'emploi d'un tel drone semble très atypique. Une hypothèse de changement de niveau de vol avec descente rapide pourrait éventuellement changer le pic de vitesse initial mais ne résout pas les questions comme le dédoublement.

Rien ne permet de confirmer un cas de PAN extraordinaire, même si nous sommes face à des indéterminations sur la restitution des trajectoires et donc du type d'objet volant, voire face à des interrogations sur certains phénomènes IR (occultations, dédoublement).

Les deux hypothèses retenues présentent chacune des avantages et inconvénients.

LE CAS D'OBSERVATION IR À PARTIR DE F18 DE L'US NAVY

Comme nous l'avons déjà expliqué, nous avons eu connaissance de ces cas par les vidéos IR qui ont été recueillies par les F18 du Nimitz en 2004 et diffusées aux médias américains par la société TTSA (ayant travaillé pour le Pentagone sur le programme de recherche AATIP sur les menaces aériennes avancées). Par ailleurs, le SCU (Scientific Coalition for UFO) nous a communiqué un rapport d'analyse de ces observations intitulé A Forensic Analysis of Navy Carrier Strike Group Eleven's Encounter with an Anomalous Aerial Vehicle.

SCIENCES ET TECHNIQUES AÉROSPATIALES POUR LA SANTÉ POINTS DE VUE CROISÉS SUR LES PHÉNOMÈNES AÉROSPATIAUX NON IDENTIFIÉS OBSERVÉS EN INFRAROUGE ET RADAR

Aucun rapport de l'US Navy n'a été diffusé depuis, relatant les faits et les observations non seulement visuelles, ou infrarouge, mais aussi radar. Nous avons pu écouter les témoignages des pilotes ou des opérateurs radar du Nimitz ou du Princeton, mais aucun rapport circonstancié n'est accessible. Néanmoins, le Pentagone et l'US Navy ont reconnu l'existence d'un programme de recherche sur les menaces aériennes avancées (dont les PANs ?) et également les incursions dans l'espace aérien américain d'objets inconnus (confirmé récemment par le North Command US) qui font l'objet maintenant de comptes rendus. Le Pentagone a formé une Task Force sur les UAPs (PANs en anglais) en août 2020 ⁴ sous leadership de l'US Navy. Parallèlement, le Japon a lancé également une organisation similaire et conclu un accord de coopération avec les USA ⁵.

À ce stade, nous nous contenterons de faire part de commentaires simples sur les faits qui sont relatés dans le rapport du SCU, ainsi que sur les vidéos IR que nous avons visualisées.

Il est aisé de comprendre après l'illustration des deux cas précédents, où nous avons croisés des données IR et radar avec un succès variable, que les données fournies par les trois vidéos IR sans données radar précises, ni restitution, ni trajectoires et cinématiques, sont largement insuffisantes pour en tirer la moindre conclusion. Comment en effet reconstituer des images en 3D pour évaluer les cinématiques, la signature (énergie rayonnée), voire la forme ou la taille, sans information sur la position de la caméra, du F18 et de l'objet ?

Seule la vidéo « GO Fast » est d'une qualité suffisante pour réaliser une analyse de l'image pour tenter d'identifier le PAN, sous réserve d'avoir les informations de contexte déjà évoquées, non disponibles à ce jour. Le point de vue croisé radar-IR est nécessaire.

Analyse du rapport et des faits relatés

Pendant plusieurs jours (10 au 13 novembre 2004), durant un exercice naval au large de San Diego, des vagues de 8 à 20 PAN sont observées au radar SPY-1 (voir Figure 13).



Figure 14 – Observation radar (Porte-avion Nimitz-croiseur Aegis Princeton)

Le détail des événements qui surviennent jusqu'au 14 novembre (date de l'enregistrement infrarouge par un F18) est relaté ci-dessous. Le 14 novembre, suite aux observations radar multiples, le Nimitz envoie plusieurs patrouilles de F18 en mission d'interception sur la zone. L'une d'elle établit un contact visuel avec un objet de forme oblongue (tictac) observé au-dessus de l'eau puis se déplaçant rapidement (voir Figure 14). L'une de ces patrouilles obtiendra un contact radar et procèdera à un enregistrement infrarouge diffusé depuis (vidéo FLIR 1 et Gimbal).

Il est troublant de constater que ces observations n'ont pas été corroborées officiellement par l'US Air Force ou le NORAD, alors qu'elles correspondaient à une intrusion dans l'espace aérien américain 3 ans après le 11 septembre. Pour autant, l'existence révélée du programme AATIP, mais aussi les déclarations récentes du Pentagone (avril 2020), de l'US Navy et enfin du North Command, attestent d'observations régulières de la présence d'objets inconnus, drones chinois, russes ou d'autres origines, selon les hypothèses formulées. Les observations de 2004 puis de 2014, et 2015, par des radars et des moyens IR sont donc a priori réelles et non des défauts des capteurs ou des fausses alarmes.

Certains supposent des tests d'engins de technologies avancées ou de technologies de brouillage très avancées (à partir de drones, projet NEMESIS ou bien de leurrage/brouillage par plasmas filamenteux). Ces sujets sont abordés dans notre rapport SIGMA2 à venir.

⁴ <https://www.defense.gov/Newsroom/Releases/Release/Article/2314065/establishment-of-unidentified-aerial-phenomena-task-force/>

⁵ <https://www.the-unidentified.net/japan-and-the-united-states-have-an-alliance-over-unidentified-aerial-phenomenon-uap/>

SCIENCES ET TECHNIQUES AÉROSPATIALES POUR LA SANTÉ

POINTS DE VUE CROISÉS SUR LES PHÉNOMÈNES AÉROSPATIAUX NON IDENTIFIÉS OBSERVÉS EN INFRAROUGE ET RADAR

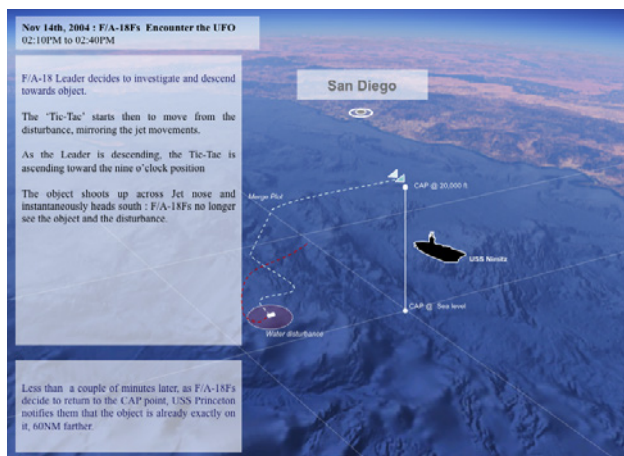


Figure 14 – Entre 14:10 et 14:40 LT : les équipages des F18 observent un PAN en forme de « Tic-Tac ».

Analyse des vidéos IR

Nous sommes en possession de 3 vidéos nommées respectivement FLIR 1, gimbal et Go Fast. Elles sont diffusées par « To the stars academy of arts and science ». Ces vidéos ont été acquises par le pod AN/ASQ 228 de Raytheon mis en service en 2003 et installé sur F18. Seule la première vidéo est datée de 2004 et donnée comme associée au cas Nimitz ; les deux autres sont présentées comme des observations de PANs effectuées par l'US Navy sans plus de précisions. L'US Navy a reconnu depuis l'authenticité des vidéos et mentionné l'existence d'autres vidéos, de meilleure qualité.

Vidéo FLIR 1

La vidéo (voir Figure 15) dure 1min 14 s pendant lesquelles on observe un objet en IR puis en visible. Le site et le gisement de la ligne de visée sont très stables, sauf une augmentation du gisement en fin de vidéo. En IR, l'objet semble être un point saturé sans structure apparente, par contre en visible il présente nettement une forme allongée.

La vidéo, globalement de mauvaise qualité, rend difficile une identification de l'objet.

On note cependant que l'objet apparaît nettement plus grand en visible qu'en IR. Pourtant dans les 2 cas, le champ des capteurs semble le même (NAR) d'après les incrustations ?

Un défaut image dans le pod n'est pas à exclure sachant qu'on peut lire que les premiers pods de cette famille installés sur F115 ont connu quelques problèmes de mise au point.



Figure 15 – Vidéo FLIR 1

Vidéo Gimbal

Cette vidéo dure 35 s, elle n'est ni localisée, ni datée. Elle est de meilleure qualité (voir Figure 16) que la précédente. Sur une mer de nuage, on observe un objet oblong alors que le F18 est en virage à gauche. Le site de la ligne de visée reste constant à -2° et le gisement varie de 54° gauche à 5° droite.

Le plus surprenant est que l'objet change d'inclinaison lorsque le gisement est compris entre -5 et $+5^\circ$, comme si sa position était liée à l'angle du miroir de tête du pod. Le commentaire des pilotes atteste de leur surprise face à un changement d'attitude qui défie les lois de la mécanique de vol, puisque plaçant l'objet orthogonalement à l'écoulement aérodynamique.

Un défaut dans le plan focal intermédiaire du système optique du pod nous semble plausible. Ce n'est peut-être pas un hasard si cette vidéo s'appelle Gimbal.

SCIENCES ET TECHNIQUES AÉROSPATIALES POUR LA SANTÉ POINTS DE VUE CROISÉS SUR LES PHÉNOMÈNES AÉROSPATIAUX NON IDENTIFIÉS OBSERVÉS EN INFRAROUGE ET RADAR



Figure 16 – vidéo Gimbal

Vidéo Go Fast

Certainement la vidéo la plus intéressante car la plus nette des 3 (voir Figure 17). Elle est probablement plus récente (observations de 2014).

Elle dure 30 s. L'avion est à 25000 pieds en vol à plat, puis dans la dernière partie de la vidéo en virage gauche. La ligne de visée commence à -22° site et 35° gauche gisement en début de vidéo, pour rejoindre régulièrement -34° site et 55 gauche gisement.

L'objet est un point chaud ponctuel se déplaçant rapidement sur fond de mer. L'opérateur rate l'accrochage de la poursuite à 3 reprises puis réussit l'accrochage et active la poursuite automatique.

La résolution angulaire est trop faible pour identifier le PAN, mais on peut dire qu'il s'agit d'un objet chaud de petite taille. Lorsque la poursuite automatique est enclenchée, il apparaît une incrustation 4.0 RNG. Si on considère qu'il s'agit d'une mesure de distance sur l'objet, celui-ci est à 7,4 km de l'avion alors que l'altitude de vol est de 7,7 km. On aurait donc bien un objet volant rapidement à une altitude intermédiaire. Sous ces conditions, une analyse géométrique du PAN est envisageable.



Figure 17 – Vidéo GO FAST

En conclusion, seule la troisième vidéo peut fournir des informations pertinentes ; les deux premières sont d'une trop mauvaise qualité pour espérer en extraire des informations. ■



Directeur de la publication : Président 3AF : Louis Le Portz

Président du Haut Conseil Scientifique : Bruno Chanetz

Rédaction : Bernard Decré

Luc Dini

Argiris Kamoulakos

Jean-Luc Marchand

Philippe Gasser

Michel Delarche,

Jean-Marc Garot

Hubert M.J. Cantalloube

Olivier Ruault Duplessis

Pascale Dubois-Fernandez

Conception graphique de la Lettre 3AF : ICI LA LUNE

Mise en page : Caroline Saux

Publication - novembre 2020



Association Aéronautique
Astronautique de France

6, rue Galilée - Paris

Tél. : 01 56 64 12 30

Fax : 01 56 64 12 31

Email : gestionmembres@aaaf.asso.fr

www.3af.fr

