

D 8447
(84p)

COUR D'APPEL DE PARIS
TRIBUNAL DE GRANDE INSTANCE
DE PARIS

RAPPORT D'EXPERTISE

COMPLÉMENT DE MISSION
(Manœuvre d'évitement)
DESTRUCTION EN VOL DU FALCON 50
KIGALI (RWANDA)

Ordonnance
Complémentaire de
Commission
d'Experts
en date du :

12 novembre 2012

Information suivie
contre :

M. KABAREBE James, NZIZA
Jack, Mme Rose KANYANGE
épouse KABUYE et autres

Numéro de
l'Instruction :

227200/13 & 1341

Numéro du
Parquet :

9729523030

Magistrats :

Mme Nathalie POUX
M. Marc TREVIDIC
Vice-Présidents chargés de
l'Instruction

COURRIER ARRIVÉ

Le 21 MAI 2013

au cabinet d'instruction

Experts :

Claudine OOSTERLINCK

Daniel VAN SCHENDEL

Jean HUON

Jean SOMPAYRAC

Olivier CHAVANIS

Le 10 mai 2013

Rapport comportant 83 pages, 1 dossier annexes
et 1 DVD

SOMMAIRE

1. MISSION.....	4
2. LA MANŒUVRE D'ÉVITEMENT ET SON INFLUENCE SUR LA TRAJECTOIRE DE L'AVION	8
2.1 La démarche suivie.....	8
2.2 Etude des réactions d'un pilote d'aéronef en cas d'attaque par missile	8
2.3 Calcul de la modification de la trajectoire en cas de manœuvre d'évitement à droite ou à gauche, en fonction du délai de réaction entre la perception de la première menace et l'initialisation de la manœuvre d'évitement	10
2.3.1 Rappel.....	11
2.3.2 Hypothèse d'une manœuvre d'évitement de l'avion réalisée 2s avant l'impact du second missile, à gauche de son approche : T0 - 2 s	12
2.3.3 Hypothèse d'une manœuvre d'évitement de l'avion réalisée 3s avant l'impact du second missile, à gauche de son approche : T0 - 3 s	15
2.3.4 Hypothèse d'une manœuvre d'évitement réalisée 2s avant l'impact du second missile : T0 - 2 s	18
2.3.5 Hypothèse d'une manœuvre d'évitement réalisée 3s avant l'impact du second missile, à droite de son approche : T0 - 3 s	19
2.4 Recherche de manœuvres d'évitement permettant d'obtenir une trajectoire de chute de l'avion compatible de la réalité des faits, après avoir été impacté par le second missile	21
2.5 Trajectoires des missiles en fonction des six points de tir envisagés dans le premier rapport	23
2.5.1 Point de tir « Camp de KANOMBE » - Intersection des chemins – Position 1	24
2.5.2 Point de tir « Camp de KANOMBE » - Cimetière – Position 2	25
2.5.3 Point de tir « MASAKA » - Le pylône - Position 3	26
2.5.4 Point de tir « MASAKA » - La Ferme – Position 4	27
2.5.5 Point de tir - La Porcherie – Position 5.....	28
2.5.6 Point de tir « KANOMBE » - En bas du cimetière – Position 6	29
2.6 Relevés dans le cockpit d'un Falcon 50 pour matérialiser le champ de vision de l'équipage.....	30
2.6.1 Déplacement sur le site DASSAULT à Mérignac	30
2.6.2 Mise en œuvre des relevés	30
2.6.3 Traitement des relevés effectués.....	31
2.7 Perception de la menace : premier missile	37
2.7.1 Remarques préliminaires sur les moteurs des missiles	38
2.7.2 Perception du premier missile par le pilote et le co-pilote dans la configuration T0-2s	45
2.7.3 Perception du premier missile par le pilote et le co-pilote dans la configuration T0-3s	58
3. DÉTERMINER SI EN FONCTION DES ÉVENTUELLES MANŒUVRES D'ÉVITEMENT ETUDIÉES, LE SECOND MISSILE TIRÉ DU SECTEUR DE LA FERME DE MASAKA ÉTAIT SUSCEPTIBLE D'EN IMPACTER L'AILE GAUCHE	69

4. MISE A DISPOSITION D'UN DVD75

5. SYNTHÈSE GÉNÉRALE.....77

6. CONCLUSION81

1. MISSION

Nous soussignés,

- Claudine OOSTERLINCK, expert aéronautique près la Cour d'Appel de CAEN, agréée par la Cour de Cassation.
- Daniel VAN SCHENDEL, expert honoraire en explosions, explosifs et incendies, près la Cour d'Appel de Toulouse.
- Jean HUON, expert en armes, munitions, balistique, près la Cour d'Appel de Versailles, agréé par la Cour de Cassation.
- Jean-SOMPAYRAC, géomètre-expert, expert près la Cour d'Appel de Toulouse,
- Olivier CHAVANIS, ingénieur en armements aéronautiques et pyrotechnie embarquée.

Commis par M. Marc TREVIDIC et Mme Nathalie POUX, Vice-Présidents chargés de l'Instruction au Tribunal de Grande Instance de PARIS, par ordonnance complémentaire de commission d'expert en date du 12 novembre 2012, rapportée ci-après :

COUR D'APPEL DE PARIS
TRIBUNAL DE GRANDE INSTANCE
DE PARIS

CABINET DE M. MARC TREVIDIC
VICE PRÉSIDENT CHARGÉ DE L'INSTRUCTION
ET DE MME NATHALIE POUX
VICE PRÉSIDENT CHARGÉ DE L'INSTRUCTION

**ORDONNANCE
COMPLEMENTAIRE DE
COMMISSION D'EXPERT**

N° du Parquet : . 9729523030 .
N° Instruction : . 2272/00/13 & 1341 .
PROCÉDURE CRIMINELLE

Nous, M. Marc TREVIDIC et Nathalie POUX, Vice Présidents Chargés de l'Instruction au tribunal de grande instance de Paris, étant en notre cabinet,

Vu la procédure instruite contre :

- M. KABAREBE James**
ayant pour avocat : Me Léon-Lef FORSTER
 - M. NZIZA Jack**
ayant pour avocat : Me Léon-Lef FORSTER
 - Mme KANYANGE Rose ép. KABUYE**
ayant pour avocats : Me Léon-Lef FORSTER et Me Bernard MAINGAIN
 - M. KANYEMERA Sam Kaka**
ayant pour avocat : Me Léon-Lef FORSTER
 - M. NZIZA Franck**
ayant pour avocat : Me Léon-Lef FORSTER
 - M. KAYONGA Charles**
ayant pour avocat : Me Léon-Lef FORSTER
 - M. TUMWINE Jacob**
ayant pour avocat : Me Léon-Lef FORSTER
- Personnes mises en examen -

des chefs de :

assassinat en relation avec une entreprise terroriste, faits prévus et réprimés par les articles 221-3, 421-1-1, 421-3 du Code Pénal, 706-16 et suivants du Code de Procédure Pénale
Réquisitoire supplétif du 31/10/06

- Assassinats en relation à titre principal ou connexe avec une entreprise individuelle ou collective ayant pour but de troubler gravement l'ordre public par l'intimidation ou la terreur,
- Complicité d'assassinats en relation à titre principal ou connexe avec une entreprise individuelle ou collective ayant pour but de troubler gravement l'ordre public par l'intimidation ou la terreur, Faits commis à l'encontre des passagers et membres d'équipage du Falcon 50 immatriculé 9XRNN de la Présidence de la République du Rwanda,
- Association de malfaiteurs en vue de préparer des actes de terrorisme, Faits prévus et réprimés par les articles 421-1-1°, 421-2-1, 421-3, 421-5, 421-6, 422-3, 422-4, 422-5, 422-6, 422-7, 121-6, 121-7 du code pénal et les articles 203, 706-16 et suivants du code de procédure pénale

Vu les articles 156 et suivants du Code de Procédure Pénale ;

Vu notre ordonnance de commission d'experts en date du 21 avril 2010;

Vu le rapport d'expertise déposé le 9 janvier 2012;

Copie certifiée conforme
à l'original
Le Greffier

Vu les observations, demandes de contre-expertise, demandes d'expertises et demandes d'actes présentées par Maître Hélène CLAMAGIRAND le 18 mai 2012, Maîtres Jean-Yves DUPEUX et Florence BOURG, Maître Emmanuel BIDANDA et Maître Philippe MEILHAC le 31 mai 2012 pour leurs clients respectifs;

Vu notre ordonnance de rejet de demandes de contre-expertises et de rejet partiel de demandes de compléments d'expertise en date du 12 juin 2012;

COMMETTONS

- M. Daniel VAN SCHENDEL, expert honoraire près la Cour d'Appel de Toulouse (explosions, explosifs et incendies), qui a prêté serment.
- M. Jean SOMPAYRAC, qui a prêté serment (géomètre expert)
- M. Jean HUON, expert près la Cour d'Appel de Versailles, agréé par la Cour de cassation (armes, munitions, balistique)
- M. Olivier CHAVANIS, qui a prêté serment (armurier aéronautique, pyrotechnicien, armement embarqué)
- Mme Claudine OOSTERLINCK, expert près la Cour d'Appel de Caen (spécialités : aéronautique, transport aérien, instructeur falcon 2000, pilote de ligne)

aux fins de procéder aux opérations ci-joint indiquées.

Les experts remettront en double exemplaire avant le 12 mai 2013, un rapport détaillé contenant leur avis motivé et l'attestation qu'ils ont personnellement accompli la mission qui leur a été confiée.

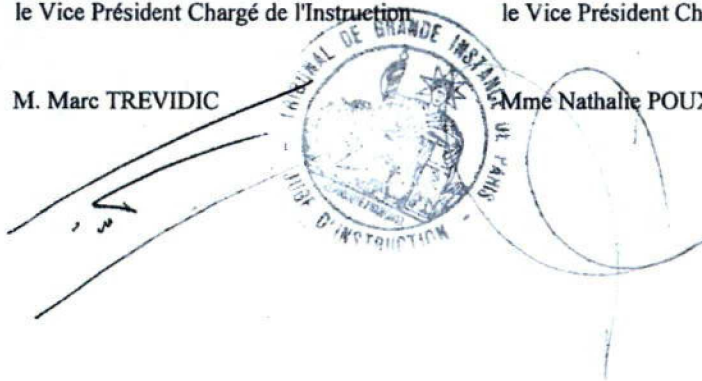
Fait à Paris, le 12 novembre 2012,

le Vice Président Chargé de l'Instruction

le Vice Président Chargé de l'Instruction

M. Marc TREVIDIC

Mme Nathalie POUX



Copie certifiée conforme
à l'original
Le Greffier

INSTRUCTION N° : 2272/00/13 .

MISSION

1- Prendre connaissance de notre ordonnance du 12 juin 2012.

2- Déterminer , en considération des données techniques connues (dispersion des débris, trajectoire, vitesse, caractéristiques et poids de l'avion), de la visibilité que pouvait avoir l'équipage du départ des tirs et de la trajectoire des missiles, ainsi que des réflexes professionnels envisageables de la part d'un pilote dans une telle situation:

- si une ou des manoeuvres d'évitement de l'un ou des deux missiles ont eu lieu,
- dans l'affirmative, quelles ont été l'ampleur et la nature de cette ou de ces manoeuvres d'évitement,
- dans l'affirmative, quelles ont été les conséquences de cette ou de ces manoeuvres d'évitement sur la trajectoire de l'avion,
- si cette ou ces éventuelles manoeuvres d'évitement auraient pu permettre à un missile venant du secteur de la ferme de Masaka et, en tout cas, arrivant par l'arrière de l'avion, d'en impacter l'aile gauche.

3- Faire toutes autres observations en rapport avec l'objet du complément d'expertise.

4- Effectuer une modélisation par ordinateur des manoeuvres d'évitement qui auraient pu permettre qu'un tir venant de l'arrière de l'appareil et en particulier des environs de la ferme de Masaka impacte le dessous de l'aile gauche et matérialiser la dispersion des débris de l'appareil au sol pour déterminer visuellement si cette dispersion est compatible avec celle réellement survenue.

Fait en notre cabinet, le 12 novembre 2012

le Vice Président Chargé de l'Instruction

le Vice Président Chargé de l'Instruction

M. Marc TREVIDIC

Mme Nathalie POUX

Nous, greffier, avons personnellement reçu le rapport d'expertise rédigé par Madame Claudine OOSTERLINCK et Messieurs Daniel VAN SCHENDEL, Jean SOMPAYRAC, Jean HUON et Olivier CHAVANIS.

Le
LE GREFFIER

Copie certifiée conforme
à l'original
Le Greffier

INSTRUCTION N° . . 2272/00/13 .

2. LA MANŒUVRE D'ÉVITEMENT ET SON INFLUENCE SUR LA TRAJECTOIRE DE L'AVION

2.1 La démarche suivie

La démarche suivie pour aboutir aux conclusions de ce rapport est totalement dans la continuité de celle qui a été adoptée pour atteindre les objectifs de la mission initiale ordonnée par les Magistrats Instructeurs.

C'est à partir des données techniques connues et des valeurs résultant de nos relevés et investigations que nous avons pu établir nos conclusions pour répondre à la présente mission.

Les experts soussignés se sont rencontrés à plusieurs reprises :

- le 11/12/2012 à Orly : 4h
- le 28/01/2013 à Orly : 3h
- le 19/03/2013 à Toulouse : 6h
- le 6/05/2013 à Paris : 7h

Et pour trois d'entre nous, s'agissant de Claudine Oosterlinck, Olivier Chavanis et Jean Sompayrac : le 12/01/2013 à Bordeaux Mérignac : 3h.

2.2 Etude des réactions d'un pilote d'aéronef en cas d'attaque par missile

Les pilotes du Falcon 50 de la présidence du Rwanda étaient des pilotes militaires français. Bien que pilotant un avion civil, les réactions d'un pilote militaire demeurent des réflexes acquis quelle que soit la menace perçue. Même s'ils se trouvent aux commandes d'un avion civil, a fortiori s'il s'agit d'un aéronef d'état « sensible », les réflexes acquis sont présents.

Nous avons interrogé plusieurs pilotes militaires de spécialités différentes, tous pilotes de chasse, de qualifications et spécialités différentes : un pilote de Jaguar, un pilote de Mirage III et un pilote de Mirage 2000.

La question posée était « que faites-vous si vous apercevez dans votre champ de vision un élément qui peut vous faire penser que vous êtes la cible d'une attaque par missile ? »

Une unanimité s'est faite quant à l'initialisation de la manœuvre :

- on évite de monter ce qui nécessiterait une mise en puissance qui en augmentant l'intensité thermique de la source chaude (plus un moteur développe de puissance, plus ses gaz d'éjection sont chauds) augmenterait la vulnérabilité de l'avion.
Il peut arriver que la réaction de jour (et de jour seulement) consiste à monter, ce qui nécessite une réserve de puissance, voire la post-combustion, moyens dont le Falcon ne disposait pas. (pas de post combustion sur un avion civil, et l'avion était lourdement chargé). De plus, on se situe dans la problématique de nuit évoquée plus haut,
- donc la réaction est plutôt de descendre, et surtout de **quitter la trajectoire par une manœuvre d'évitement à l'opposé de la menace** en commençant par débrayer le pilote automatique, ce qui se fait par un geste rapide sur le volant de l'avion, la manœuvre d'évitement s'effectuant à la main,
- étant donné la position du Falcon sur l'axe de l'ILS, c'est à dire très proche du sol (795m en passant la balise LO en finale) s'il a dévié de son plan de descente ce ne peut être que de quelques mètres, une manœuvre de « plongée » aurait entraîné un risque de collision avec le sol.

L'initiation d'une manœuvre d'évitement est systématiquement accompagnée d'une extinction des lumières de l'avion, toujours à des fins de recherche de la furtivité ; cette extinction des feux a d'ailleurs été constatée par plusieurs témoins. Mais l'extinction des feux n'implique pas systématiquement qu'il y ait eu manœuvre d'évitement, la proximité du sol et de la piste ayant pu conduire l'équipage à ne pas effectuer celle-ci et se contenter d'éteindre les feux. On peut également imaginer une simple amorce d'une manœuvre d'évitement sous forme d'une inclinaison infime, un débrayage du pilote automatique et une extinction des feux, manœuvre qui n'a pu être menée à bien.

En complément, on considérera que plusieurs facteurs peuvent influencer sur les décisions d'un pilote :

- la conscience du risque : dans le cas présent, elle était élevée,
- l'expérience : comme il est dit plus haut, le biais de conformité rend particulièrement sensible à la menace un pilote militaire,
- le contexte : il est tel qu'on le connaît, à savoir celui d'une situation inhabituelle (présence de chefs d'état, conscience d'une menace existante....).

2.3 Calcul de la modification de la trajectoire en cas de manœuvre d'évitement à droite ou à gauche, en fonction du délai de réaction entre la perception de la première menace et l'initialisation de la manœuvre d'évitement

Le Falcon est un avion d'affaires qui bénéficie de la technique Dassault en matière d'avions militaires, à savoir qu'il est extrêmement maniable et réactif.

Une manœuvre d'évitement étant par essence urgente, on considère que le pilote a pu d'emblée adopter une inclinaison de 45° ou de 60°

Formule du calcul du rayon de virage

Si V est la vitesse de l'avion, soit ici 60m/seconde

R est le rayon de virage en m

g est la gravité

μ est l'inclinaison en degrés

tangente $\mu = V^2/Rg$

d'où $R = V^2 / \text{tangente } \mu \times g$

la valeur de g est 9,81 m/s²

Calcul de la trajectoire pour 45° d'inclinaison et 2 sec de manœuvre d'évitement

$R = 60^2 \text{ tg } 45^\circ \times 9,81 = 367 \text{ m}$ de rayon de virage pour 45° d'inclinaison.

Longueur de la circonférence si l'avion parcourait un cercle complet : $2 \times 3,1416 \times 367 = 2306 \text{ m}$ pour parcourir 360°.

Pour un degré de cap, on parcourt $2306\text{m}/360 = 6,4 \text{ m}$.

Comme on sait que l'avion parcourt 61 mètres à la seconde (arrondi à 60 m/s pour ce calcul). En deux secondes, il a parcouru 120 m sur la circonférence, soit un écart de cap de $230/120 = 19^\circ$.

Par un simple calcul trigonométrique, on en déduit l'écart latéral par rapport à la route initiale (soit l'axe de l'ILS) : ce qui est rapporté dans le tableau qui suit.

Modification de la trajectoire de l'avion en fonction du délai de réaction entre la perception de la première menace et l'initialisation de la manœuvre d'évitement, $\Delta T = 2s$ et $\Delta T = 3s$ pour une inclinaison de 45° et de 60°

	R de virage	écart cap	Distance latérale
Inclinaison 45°	367 m		
2 sec	367 m	19°	20 m
3 sec	367 m	29°	45 m
Inclinaison 60°	212 m		
2 sec	212 m	33°	34 m
3 sec	212 m	49°	74 m

Il s'entend que pour tout autre délai de réaction, ces calculs (formule de calcul du rayon de virage) seront repris pour déterminer les modifications de trajectoire de l'avion.

2.3.1 Rappel

Il est nécessaire de rappeler qu'au moment des faits :

1. l'avion présidentiel était en phase d'approche de nuit sur l'ILS à une vitesse de 61 m/s, avec une pente descendante de 3° ,
2. l'avion présidentiel a été impacté par le deuxième missile à une altitude de **1646 mètres** que nous considérons comme une valeur nominale, à laquelle il faut accorder un intervalle de tolérance sur sa trajectoire d'approche de ± 40 mètres. Les coordonnées de ce point d'impact sont :

X = 186 070

Y = 9 781 387

Z = 1 646

3. l'avion a parcouru une distance horizontale de **l'ordre de 400 m**, avant de s'écraser au sol, éparpillant des débris sur une longueur de 145 mètres et une largeur de 20 m environ. Il a heurté le sol suivant **un angle de 31° environ**. Avec cet angle d'incidence, il est logique que l'avion ait ricoché, perdant des débris au fur et à mesure de son parcours. Sa trajectoire de chute se trouve **sur la gauche** de son axe d'approche de piste. Il a dévié de cet axe d'approche d'un **angle de 14° environ**,

4. le point d'impact du second missile sur l'avion se situe à **236 mètres au-dessus** de l'altitude du lieu du crash : **Z = 1410 m**. Cet impact sur l'avion se situe à **3150 m** de la réf. ILS. Le lieu du crash a été positionné, ramené sur la trajectoire d'approche, à **2760 m** de cette référence
5. selon les témoins, un premier missile manquant son objectif a été tiré deux à trois secondes avant le second missile.

Ainsi nous allons étudier les hypothèses de manœuvres d'évitement éventuellement réalisées respectivement 2s et 3s avant l'impact du deuxième missile. Selon les indications de l'un de nous, Claudine OOSTERLINCK, il convient de retenir que le pilote face au danger dévie **rapidement** (temps de réaction de l'ordre de la seconde, parfois inférieur) de la trajectoire de l'avion, dans le cas présent, vraisemblablement à la même altitude compte-tenu de la proximité du sol et du fait que l'on se situait de nuit, suivant une inclinaison comprise entre **45 °** et **60°**.

2.3.2 Hypothèse d'une manœuvre d'évitement de l'avion réalisée 2s avant l'impact du second missile, à gauche de son approche : T0 - 2 s

T0 = impact du second missile à l'origine du crash de l'avion.

Afin de déterminer le rayon de virage de l'avion avec une inclinaison donnée, nous avons utilisé les formules présentées dans le chapitre précédent, soit :

$$\text{Tg inclinaison} = V^2 / R \times g \quad g=9.81 \text{ ms}^2 \quad V = \text{vitesse de l'avion } 61\text{m/s}$$

$$\text{d'où } R = V^2 / \text{Tg inclinaison} \times 9.81$$

Inclinaison de l'avion de 45°, à gauche de son approche

Pour une inclinaison de 45° le rayon de virage sera de 367 m.

La circonférence sera égale à $2 \times 3.1416 \times 367 = 2306$ m pour parcourir 360 °.

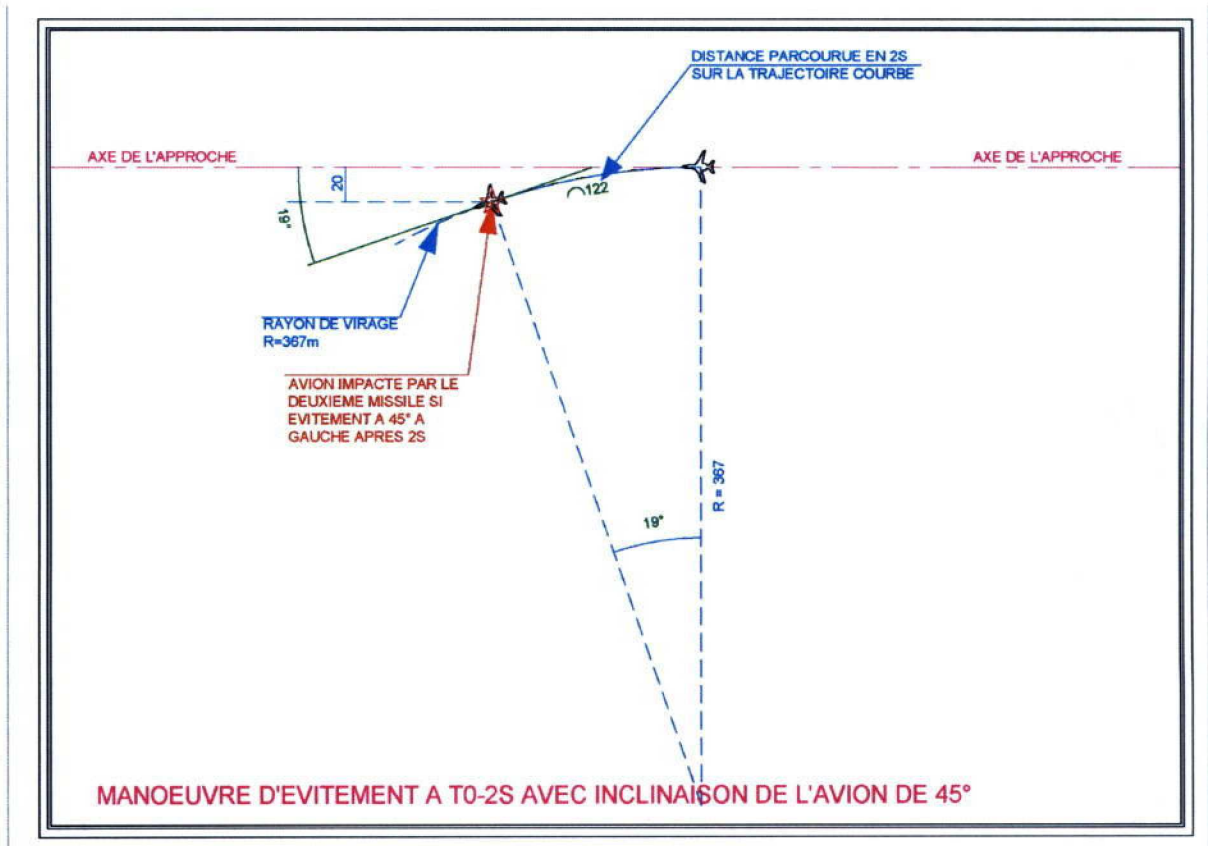
Ainsi pour un écart de 1° la distance parcourue sera de $2306/360 = 6.4$ m.

L'avion ayant une vitesse de 61 m /s parcourt en 2 s 122 m, ce qui donne un angle de $122/6.4 = 19^\circ$.

L'écart latéral sera calculé comme suit :

$$367 \times \cos 19^\circ = 347 \text{ m}$$

$$367 \text{ m} - 347 \text{ m} = 20 \text{ m.}$$



(planche jointe en annexe)

Suivant cette hypothèse de manœuvre d'évitement, au moment de l'impact par le deuxième missile, **2s après** ladite manœuvre, l'avion se trouve :

- sur le même plan horizontal, à 3° près, qui correspond à son angle d'approche,
- à 20 mètres à gauche de son axe d'approche, après avoir parcouru une distance curviligne de 122 mètres.

Inclinaison de l'avion de 60°, à gauche de son approche

Sur les bases des calculs précédents, pour une inclinaison de 60°, le rayon de virage sera de 212 m.

La circonférence sera égale à $2 \times 3.1416 \times 212 = 1332$ m pour parcourir 360°.

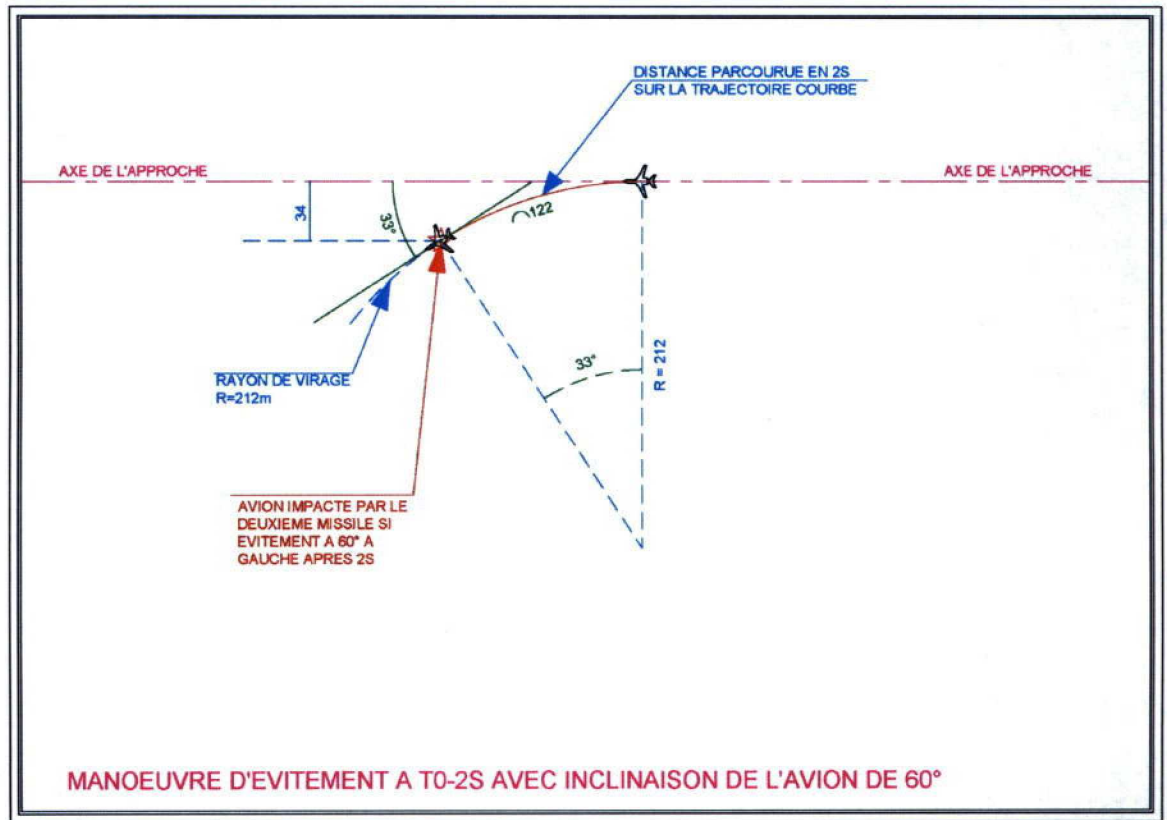
Ainsi pour un écart de 1° la distance parcourue sera de $1332/360 = 3.7$ m.

L'avion ayant une vitesse de 61 m/s parcourt en 2 s 122 m, arrondi à 120 m, ce qui donne un angle de $122/3.7 = 33^\circ$.

L'écart latéral sera calculé comme suit :

$$212 \times \cos 33^\circ = 178 \text{ m}$$

$$212 \text{ m} - 178 \text{ m} = 34 \text{ m}$$

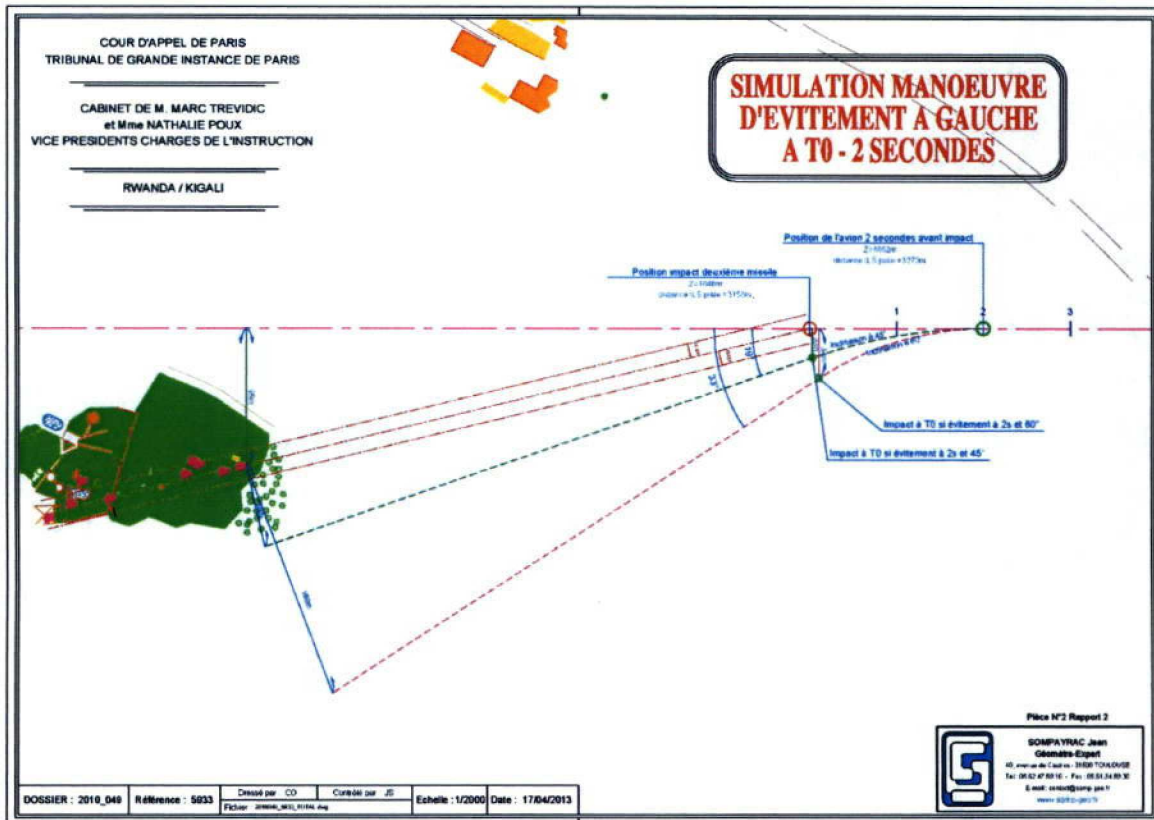


(planche jointe en annexe)

Suivant cette hypothèse de manœuvre d'évitement, au moment de l'impact par le deuxième missile, 2s après ladite manœuvre, l'avion se trouve :

- sur le même plan horizontal, à 3° près qui correspond à son angle d'approche initial,
- à 34 mètres à gauche de son axe d'approche, après avoir parcouru une distance curviligne de 122 mètres.

En fonction des calculs et croquis précédents, nous représentons sur une même planche les simulations des trajectoires de chute de **l'avion incliné à 45° et à 60°**, dans la configuration du premier missile détecté par les pilotes **2s** avant l'impact du second.



(planche jointe en annexe)

Synthèse

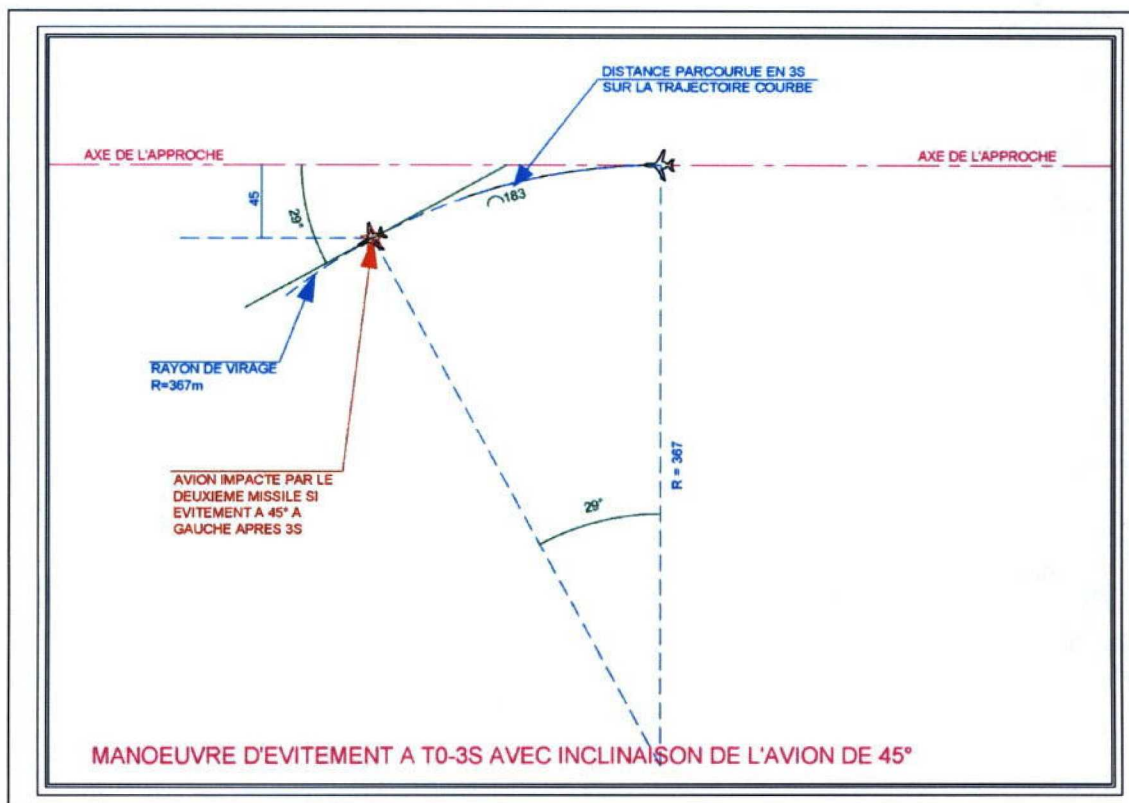
Cette simulation met en évidence que, pour une manœuvre d'évitement engagée 2 secondes avant l'impact du second missile, que ce soit pour une inclinaison à 45° ou à 60°, les trajectoires de chute conduisent à des crashes très éloignés de la réalité des faits : 58 mètres et 169 mètres. L'équipage n'a donc pas engagé de manœuvre d'évitement sur la gauche de l'appareil avant l'impact du second missile.

2.3.3 Hypothèse d'une manœuvre d'évitement de l'avion réalisée 3s avant l'impact du second missile, à gauche de son approche : T0 - 3 s

T0 = impact du second missile à l'origine du crash de l'avion.

Inclinaison de l'avion de 45°, à gauche de son approche

Sur la base des calculs précédents, voici ce qui est obtenu :



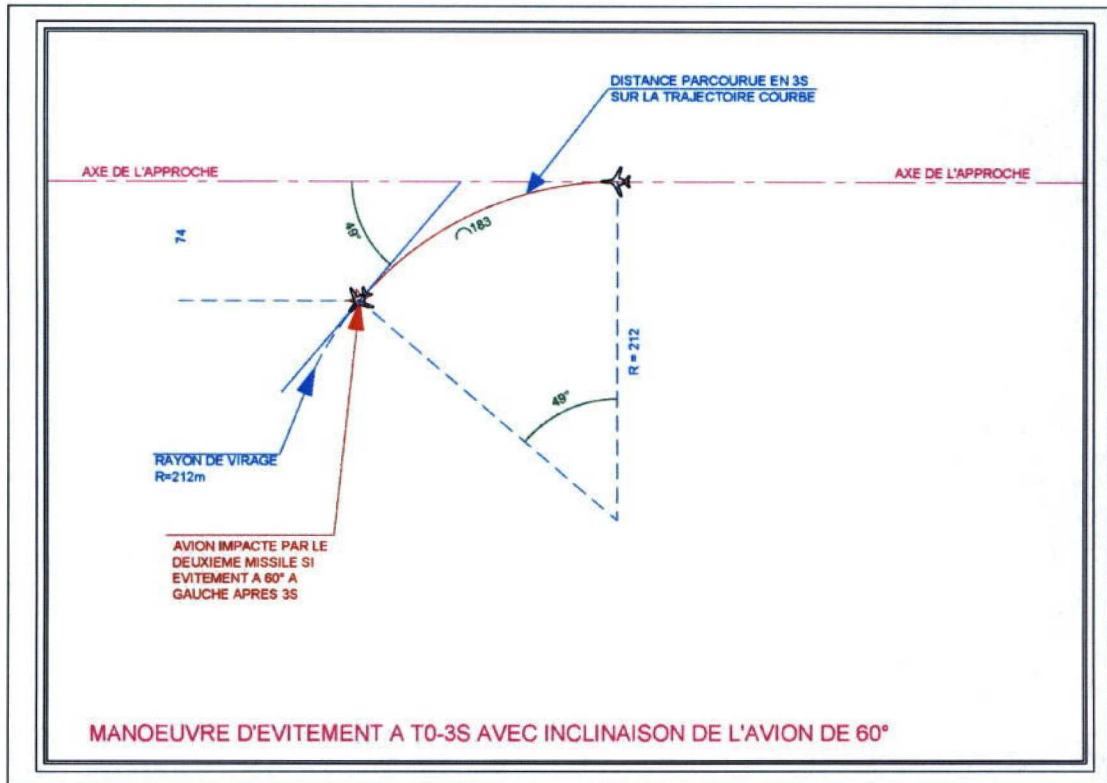
(planche jointe en annexe)

Suivant cette hypothèse de manœuvre d'évitement, au moment de l'impact par le deuxième missile, 3s après ladite manœuvre, l'avion se trouve :

- sur le même plan horizontal, à 3° près, qui correspond à son angle d'approche,
- à 45 mètres à gauche de son axe d'approche, après avoir parcouru une distance curviligne de 183 mètres.

Inclinaison de l'avion de 60°, à gauche de son approche

Sur la base des calculs précédents, voici ce qui est obtenu :

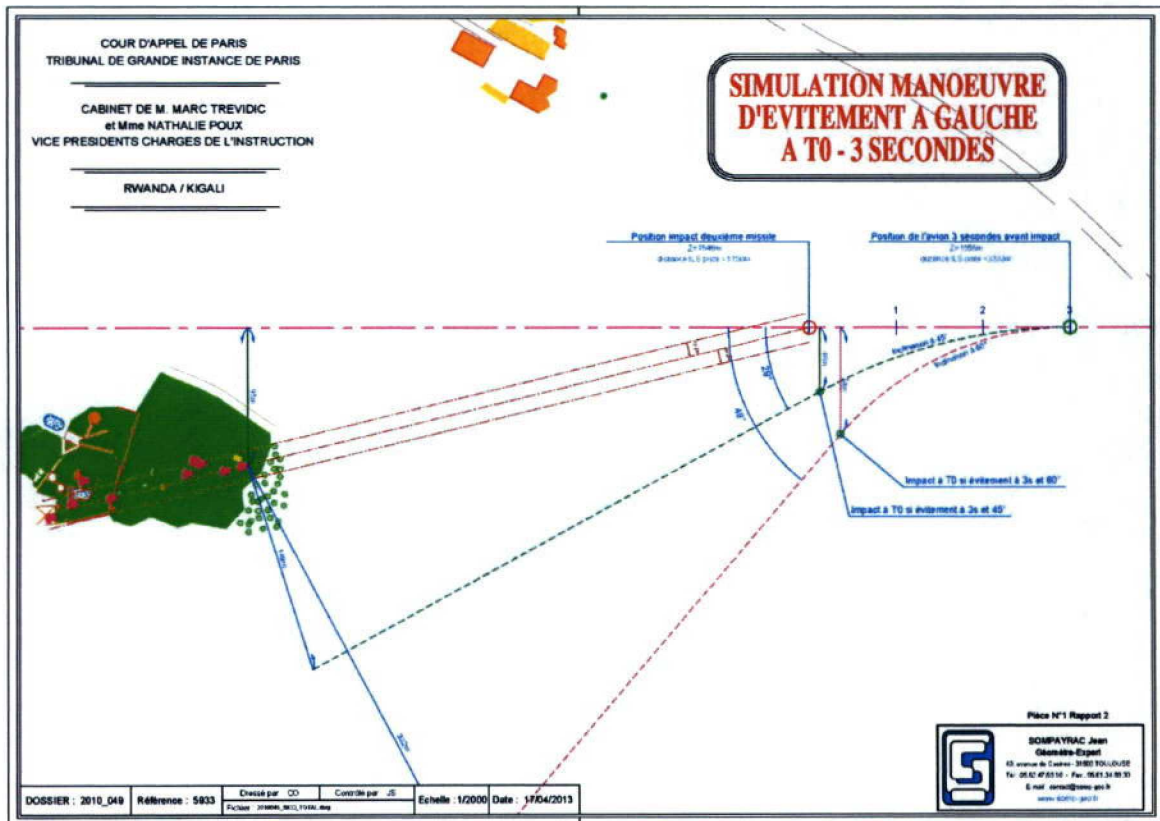


(planche jointe en annexe)

Suivant cette manœuvre d'évitement, au moment de l'impact par le deuxième missile, 3s après ladite manœuvre, l'avion se trouve :

- sur le même plan horizontal, à 3° près, qui correspond à son angle d'approche,
- à 74 mètres à gauche de son axe d'approche, après avoir parcouru une distance curviligne de 183 mètres.

En fonction des calculs et croquis précédents, nous représentons, sur une même planche, les simulations des trajectoires de chute de l'avion incliné à 45° et à 60°, dans la configuration du premier missile détecté par les pilotes 3s avant l'impact du deuxième missile.



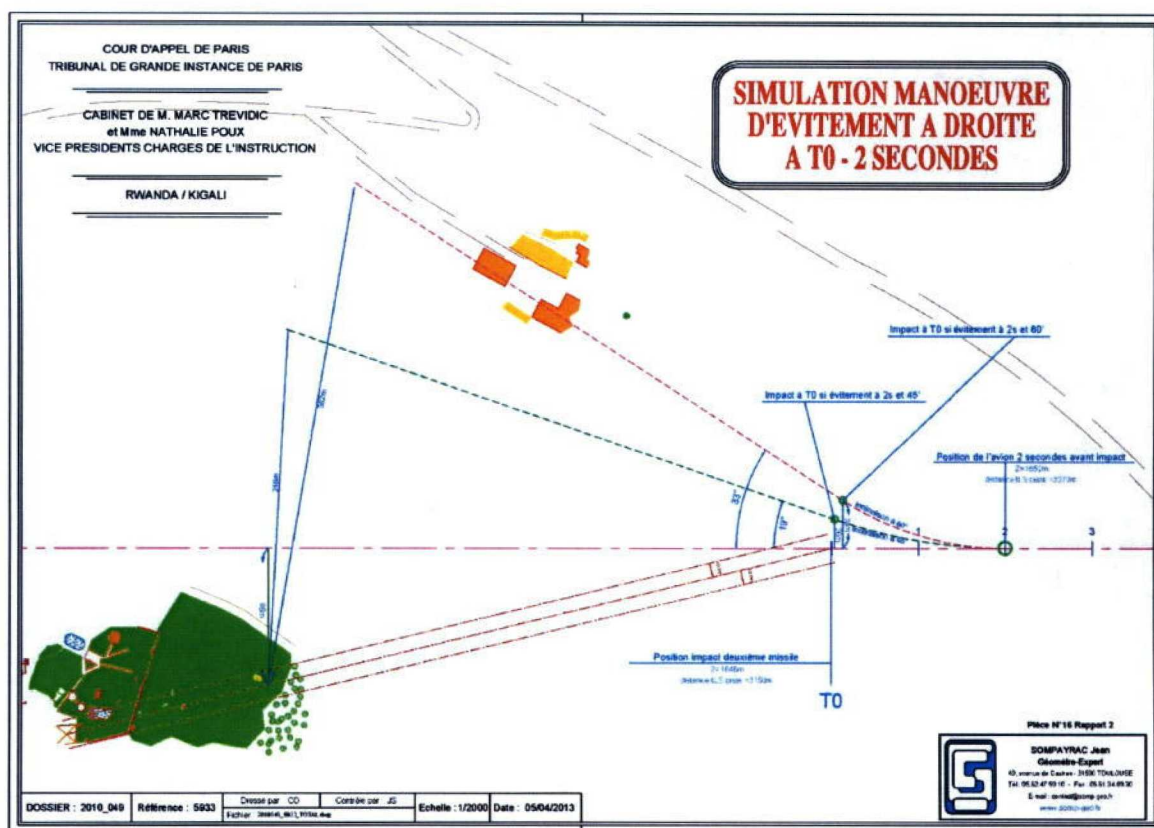
(planche jointe en annexe)

Synthèse

Cette simulation met en évidence que, pour une manœuvre d'évitement engagée 3s avant l'impact du second missile, que ce soit pour une inclinaison de l'avion à 45° ou à 60°, les trajectoires de chute conduisent à des crashes très éloignés de la réalité des faits : 149 mètres et 322 mètres. L'équipage n'a donc pas engagé de manœuvre d'évitement sur la gauche de l'appareil 3s avant l'impact du second missile.

2.3.4 Hypothèse d'une manœuvre d'évitement réalisée 2s avant l'impact du second missile : T0 - 2 s

Inclinaison de l'avion de 45° et de 60° à droite de son approche



Synthèse

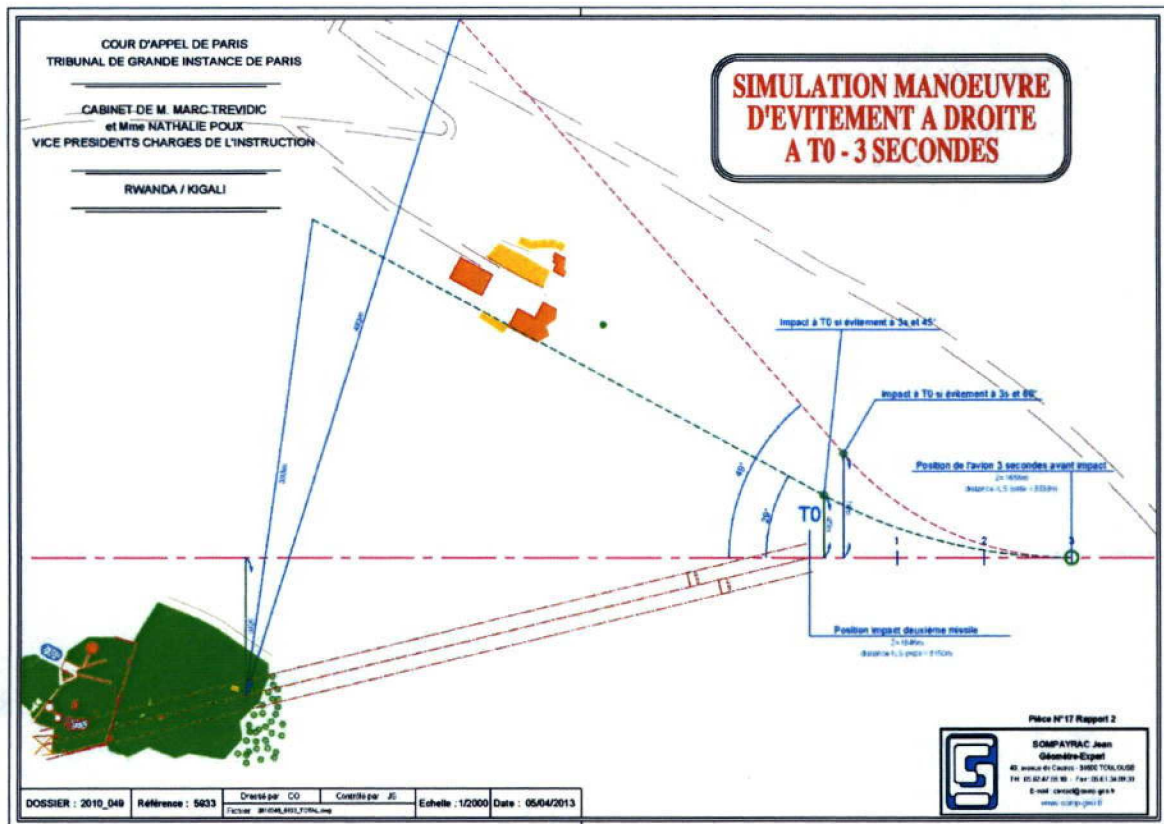
Sur la base de la même démarche conduite pour les cas de manœuvres d'évitement à gauche de l'axe d'approche, les principaux résultats obtenus figurant sur la planche ci-dessus sont les suivants :

- le lieu du crash pour une inclinaison de l'avion à 45° se situe à droite de l'approche, à 246 mètres de celui de l'événement réel,
- le lieu du crash pour une inclinaison de l'avion à 60° se situe à droite de l'approche, à 362 mètres de celui de l'événement réel.

L'équipage n'a donc pas engagé de manœuvre d'évitement sur la droite de l'appareil, 2s avant l'impact du second missile.

2.3.5 Hypothèse d'une manœuvre d'évitement réalisée **3s** avant l'impact du second missile, à droite de son approche : **T0 - 3 s**

Inclinaison de l'avion de 45° et de 60° à droite de son approche



Synthèse

Sur la base de la même démarche conduite pour les cas de manœuvre d'évitement à gauche de l'axe d'approche, les principaux résultats obtenus, figurant sur la planche ci-dessus, sont les suivants :

- le lieu du crash pour une inclinaison de l'avion à 45° se situe, à droite de l'approche, à 333 mètres de celui de l'événement réel,
- le lieu du crash pour une inclinaison de l'avion à 60° se situe à droite de l'approche, à 493 mètres de l'événement réel.

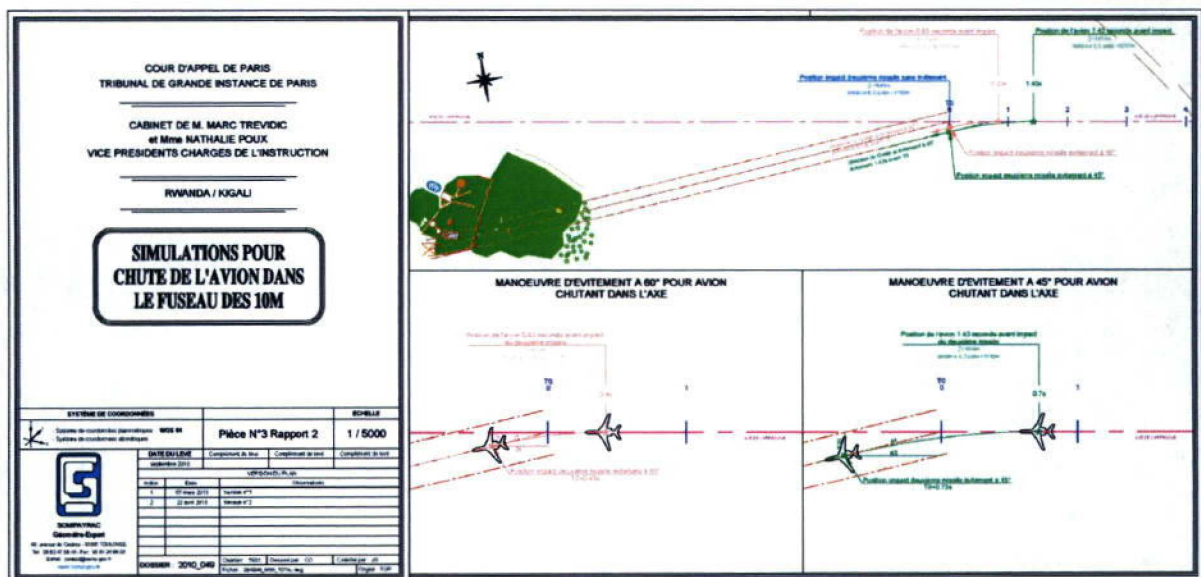
L'équipage n'a donc pas engagé de manœuvre d'évitement sur la droite de l'appareil 3s avant l'impact du second missile.

En conclusion de ce chapitre, aucune manœuvre d'évitement n'a été engagée par l'équipage 2s ou 3s avant l'impact du second missile, que ce soit à gauche ou à droite de l'approche de piste, avec une inclinaison de l'avion de 45° ou de 60°.

2.4 Recherche de manœuvres d'évitement permettant d'obtenir une trajectoire de chute de l'avion compatible de la réalité des faits, après avoir été impacté par le second missile

L'étude précédente conduite pour évaluer l'influence d'une manœuvre d'évitement sur la trajectoire de l'avion à T0 -2s et T0 -3s, a montré que le lieu du crash était, à chaque fois, nettement éloigné de la réalité. Pour chacune des hypothèses étudiées, les débris de l'avion auraient été retrouvés largement en dehors de la résidence présidentielle. Il nous est alors apparu indispensable de rechercher par quelle éventuelle manœuvre d'évitement l'avion aurait pu se retrouver, une fois touché par le deuxième missile, dans l'axe du fuseau de trajectoire de chute, déterminé dans notre premier rapport.

Les résultats de cette étude, basée sur les calculs utilisés pour les hypothèses précédentes, figurent sur la planche qui suit :



Les résultats de cette étude sont rapportés ci-après :

- Si l'avion aborde une manœuvre d'évitement par la gauche, avec une inclinaison de 45°, son axe de chute se superpose à la limite du fuseau côté gauche de sa trajectoire de chute, à condition que ladite manœuvre s'engage 1,43 s avant l'impact du deuxième missile, daté T0. En conséquence, les débris n'auraient pas été dispersés de la même manière. Cette hypothèse ne peut pas être retenue.

- Si l'avion aborde une manœuvre d'évitement par la gauche, avec une inclinaison de 60° , son axe de chute est compris entre la limite côté gauche du fuseau et son axe, à condition que ladite manœuvre s'engage 0,83 s avant l'impact du second missile, daté T0. Cette hypothèse ne peut pas être acceptable. Même si la trajectoire de chute se trouve à l'intérieur du fuseau, elle n'est pas sur l'axe de ce dernier. Les débris n'auraient pas été dispersés de la même manière.
- Dans une configuration où la trajectoire de chute se confond avec l'axe du fuseau, deux cas sont possibles :
 - la manœuvre d'évitement avec un angle d'inclinaison de l'avion de 45° débute 0,70s avant l'impact du second missile daté T0, c'est-à-dire 1,30s après T0 -2s et 2,30s après T0 -3s. L'impact du missile sur l'avion se produit 0,73s après le T0,
 - la manœuvre d'évitement avec un angle d'inclinaison de l'avion de 60° débute 0,4s avant l'impact du second missile daté T0, c'est-à-dire 1,6s après T0 -2s et 2,6s après 3s. L'impact de ce dernier sur l'avion se produit 0,43s après T0.

Pour ces deux hypothèses :

- l'impact du deuxième missile sur l'avion ne correspond pas à ce que nous avons établi dans notre premier rapport,
- l'engagement de ces deux cas de manœuvre d'évitement aurait été réalisé bien après que le premier missile ait pu être aperçu, que ce soit pour l'intervalle de temps de 2s (T0 -2s) ou celui de 3s (T0 -3s),
- ces délais de réaction ne correspondent pas aux réflexes professionnels des pilotes qui étaient aux commandes de cet appareil, en référence à ce qui a été établi par l'un de nous, Claudine OOSTERLINCK : chapitre 2.2. Il convient de rappeler que ces pilotes avaient eu une formation militaire.

Ces deux hypothèses de manœuvre d'évitement ne peuvent donc pas être retenues.

2.5 Trajectoires des missiles en fonction des six points de tir envisagés dans le premier rapport

Les plans qui sont présentés tiennent compte des éventuelles manœuvres d'évitement réalisées à $T_0 - 2s$ et $T_0 - 3s$, ainsi que de l'incidence de l'impact du deuxième missile sur la trajectoire de l'avion, induite par lesdites manœuvres d'évitement. Pour chaque position de tir, nous avons établi un plan avec un décalage de tir des deux missiles de 2 s et de 3 s. Tous ces plans disposent de la même légende.

La courbe rouge correspond au trajet du 1^{er} missile.

Cette courbe est sectorisée par des lettres qui sont reportées sur l'axe d'approche et qui correspondent aux positions simultanées de l'avion et du missile. Ainsi lorsque l'avion est situé au point D sur l'axe d'approche, le missile est au point D sur la courbe rouge.

La courbe verte correspond au trajet du 2^{ème} missile.

Comme la courbe précédente, elle est sectorisée par des lettres afin de positionner respectivement l'avion et le missile. Ainsi lorsque l'avion est au point Z, le 2^{ème} missile se situe sur la courbe verte au point Z

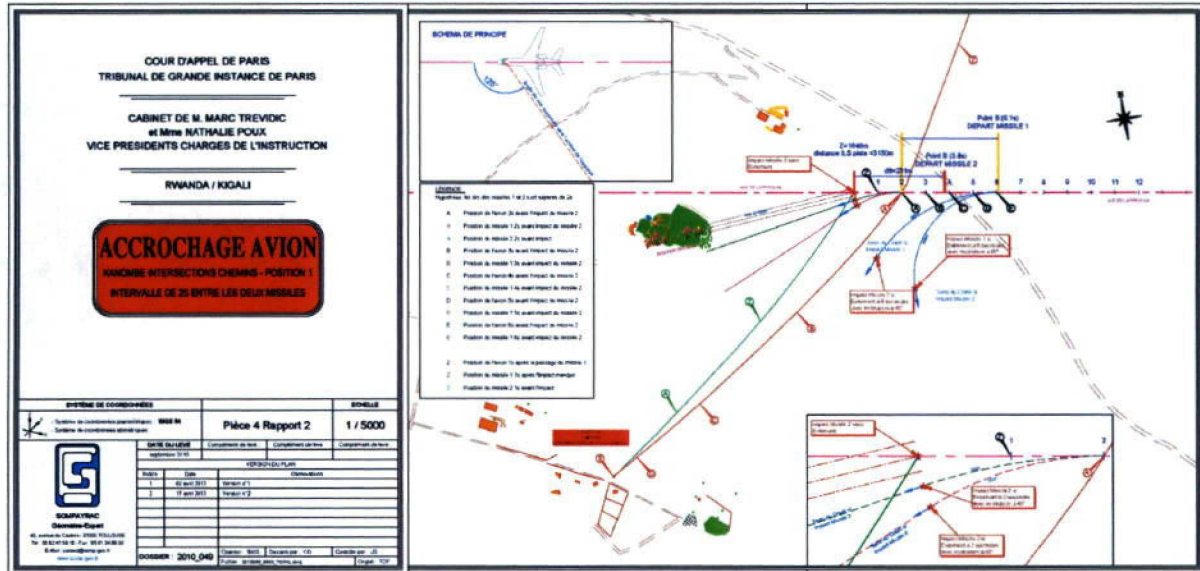
Sur ces plans sont également dessinées deux séries de courbes en traits bleus pointillés.

Au point E, nous prenons comme hypothèse que le pilote a vu le **départ du 1^{er} missile** et a immédiatement effectué une manœuvre d'évitement. Avec une inclinaison de 45° ou 60° nous obtenons les courbes suivant la formule précédente. La distance curviligne correspondant au déplacement de l'avion jusqu'à l'impact du 2^{ème} missile permet de positionner l'impact du 2^{ème} missile sur cette courbe et de visualiser la chute de l'avion suivant une trajectoire tangentielle.

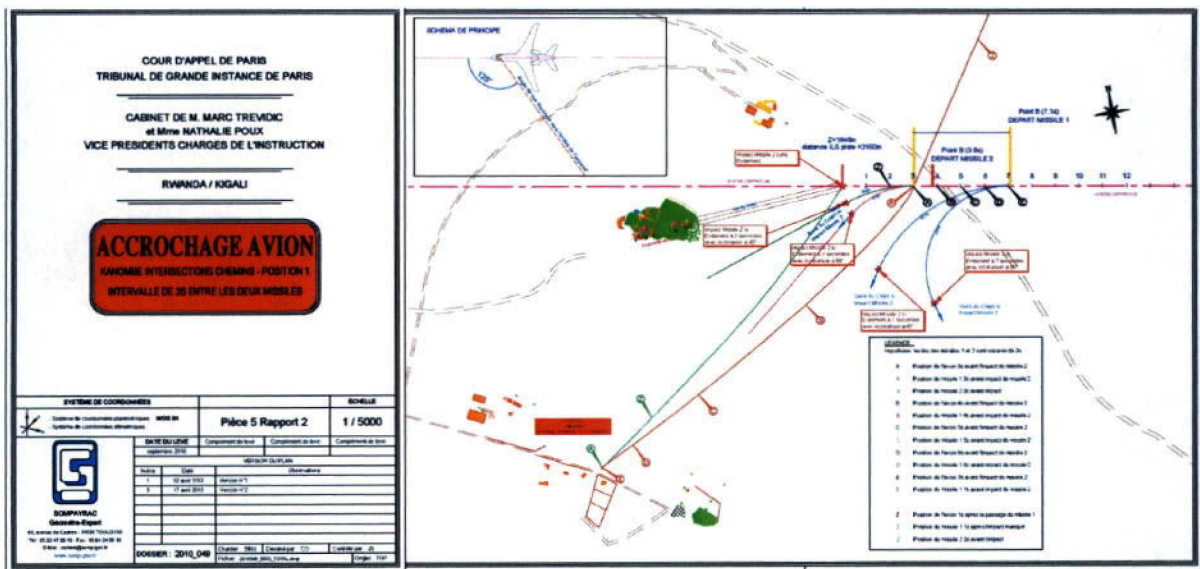
Au point A, nous prenons comme hypothèse que le pilote a vu le **passage du 1^{er} missile** à proximité de l'avion et a immédiatement effectué une manœuvre d'évitement. Comme précédemment, nous avons positionné l'impact du 2^{ème} missile sur les courbes (dessiné par une étoile) et tracé, dans le prolongement, la trajectoire de chute de l'avion.

Ces documents comportent également un schéma de l'avion indiquant l'angle de vue maximum vers l'arrière de l'appareil.

2.5.1 Point de tir « **Camp de KANOMBE** » - Intersection des chemins – Position 1

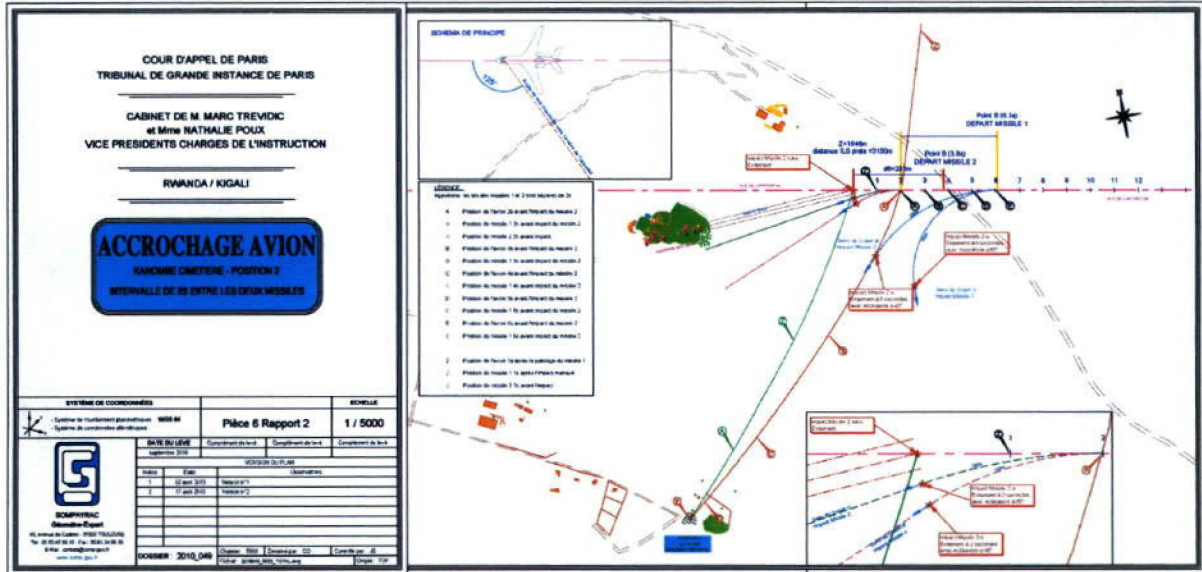


(planche jointe en annexe)

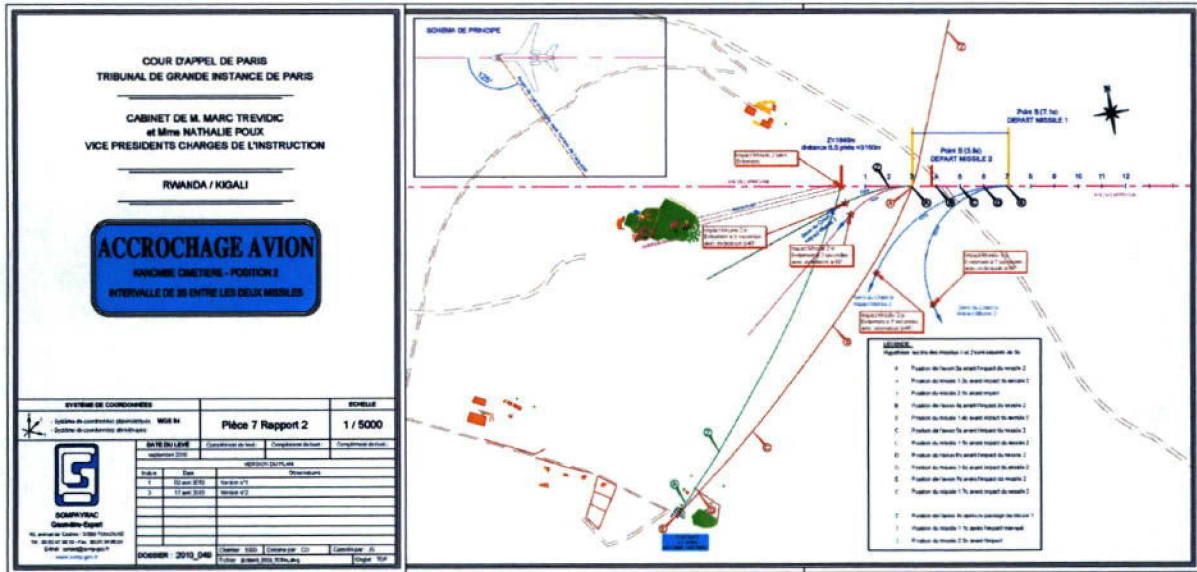


(planche jointe en annexe)

2.5.2 Point de tir « **Camp de KANOMBE** » - Cimetière – Position 2

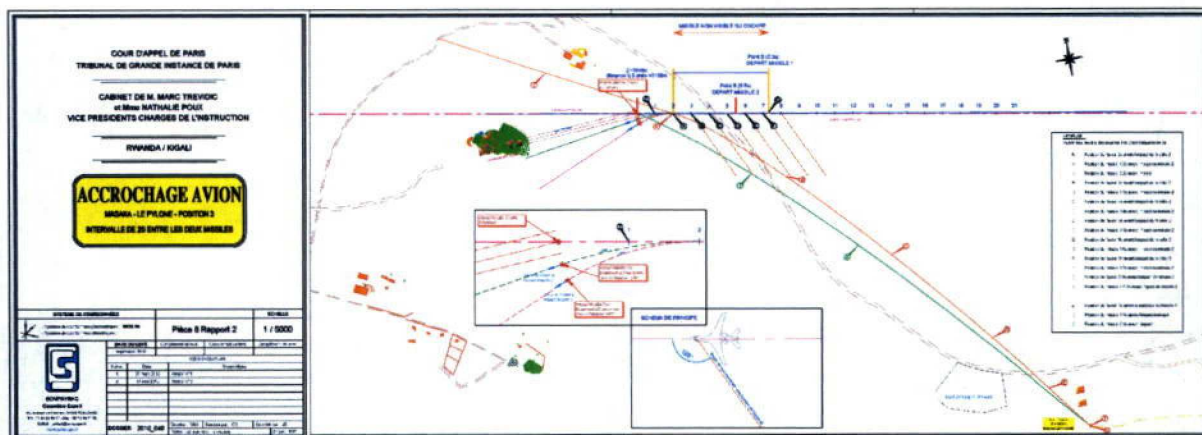


(planche jointe en annexe)

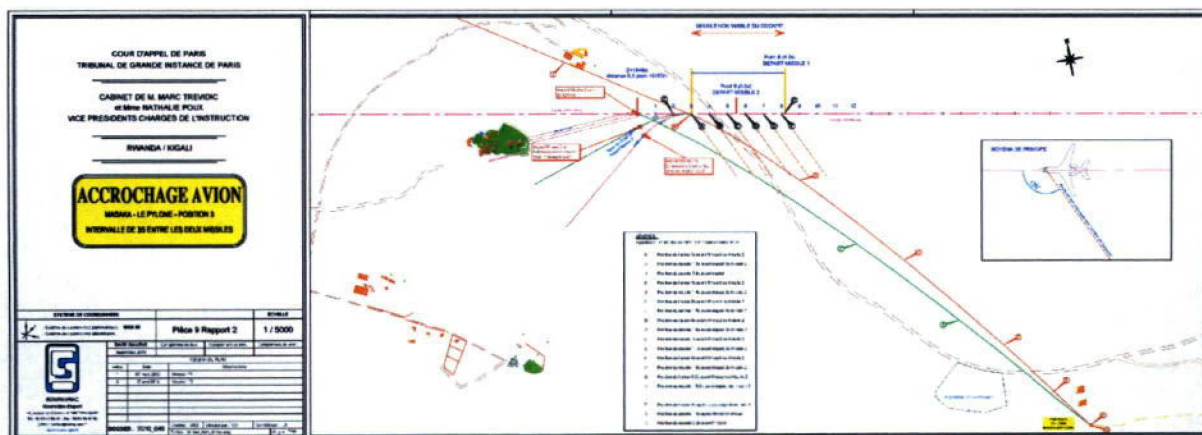


(planche jointe en annexe)

2.5.3 Point de tir « **MASAKA** » - Le pylône - Position 3

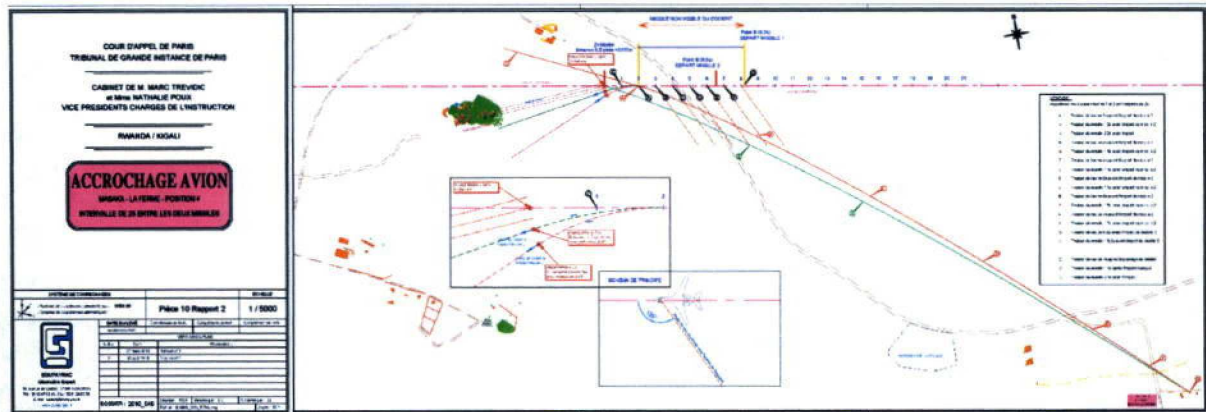


(planche jointe en annexe)

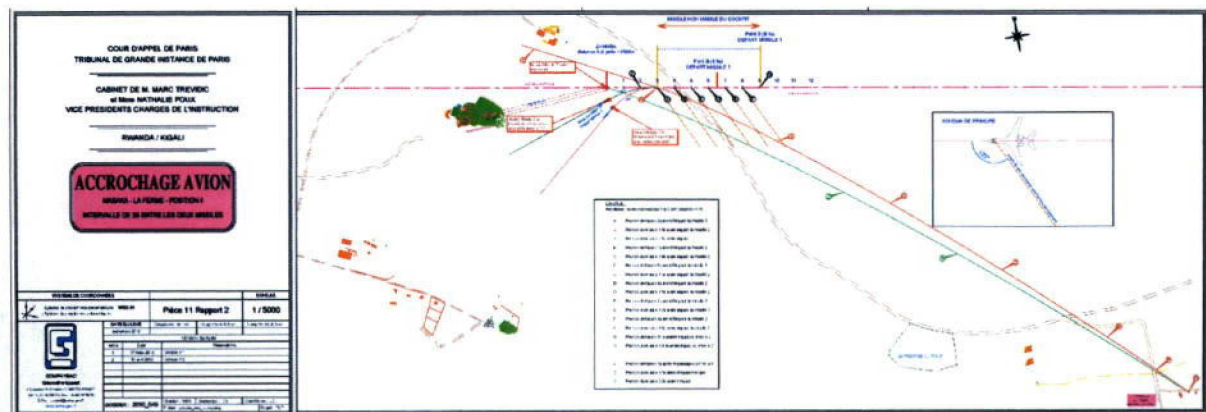


(planche jointe en annexe)

2.5.4 Point de tir « **MASAKA** » - La Ferme – Position 4

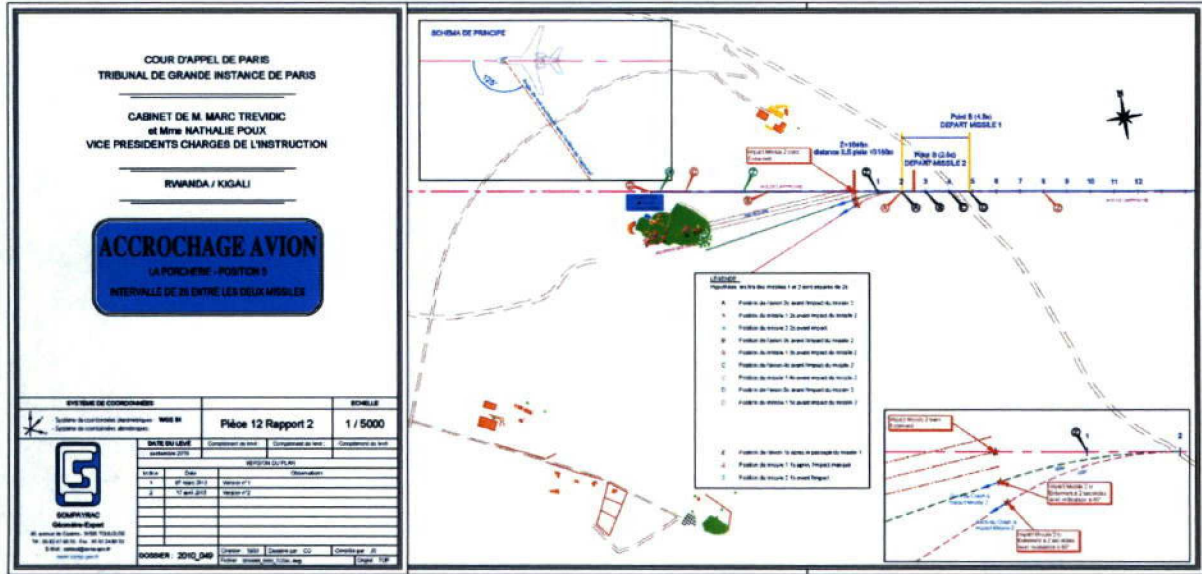


(planche jointe en annexe)

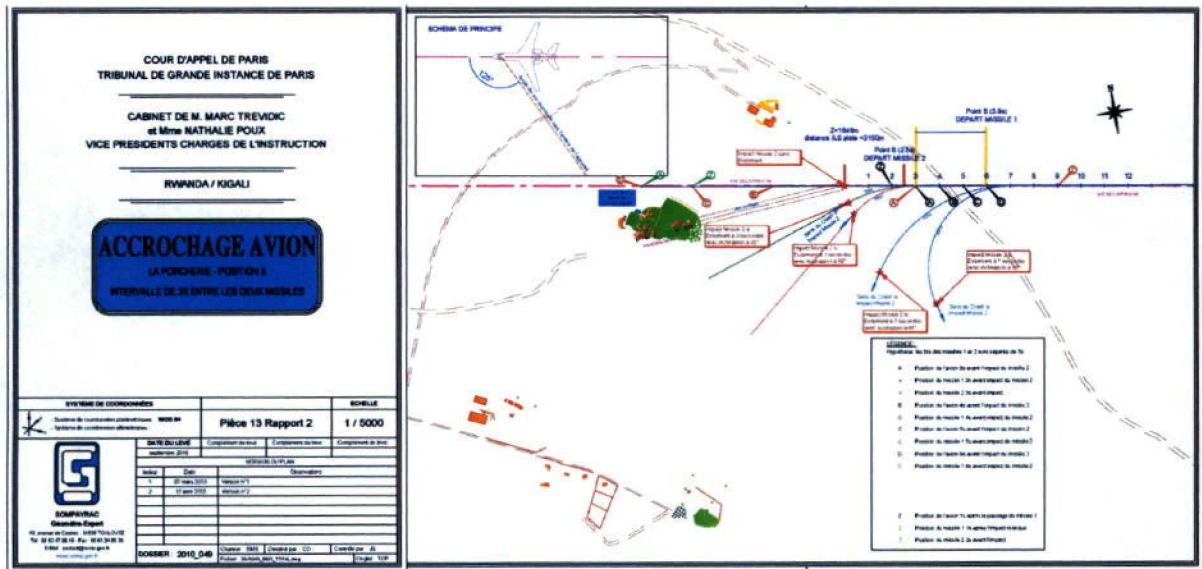


(planche jointe en annexe)

2.5.5 Point de tir - La Porcherie – Position 5

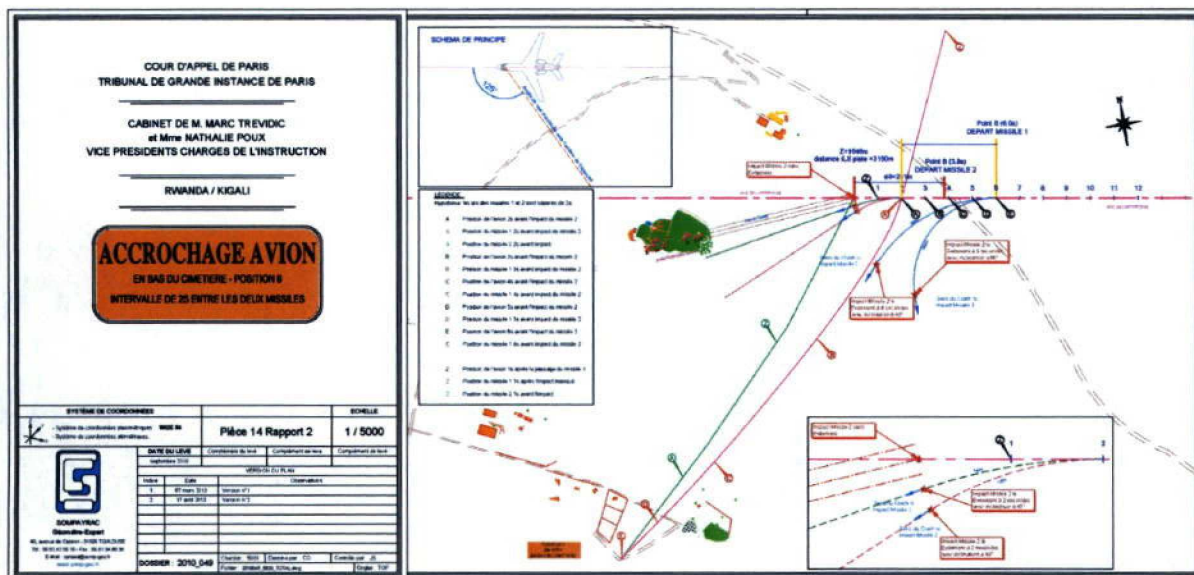


(planche jointe en annexe)

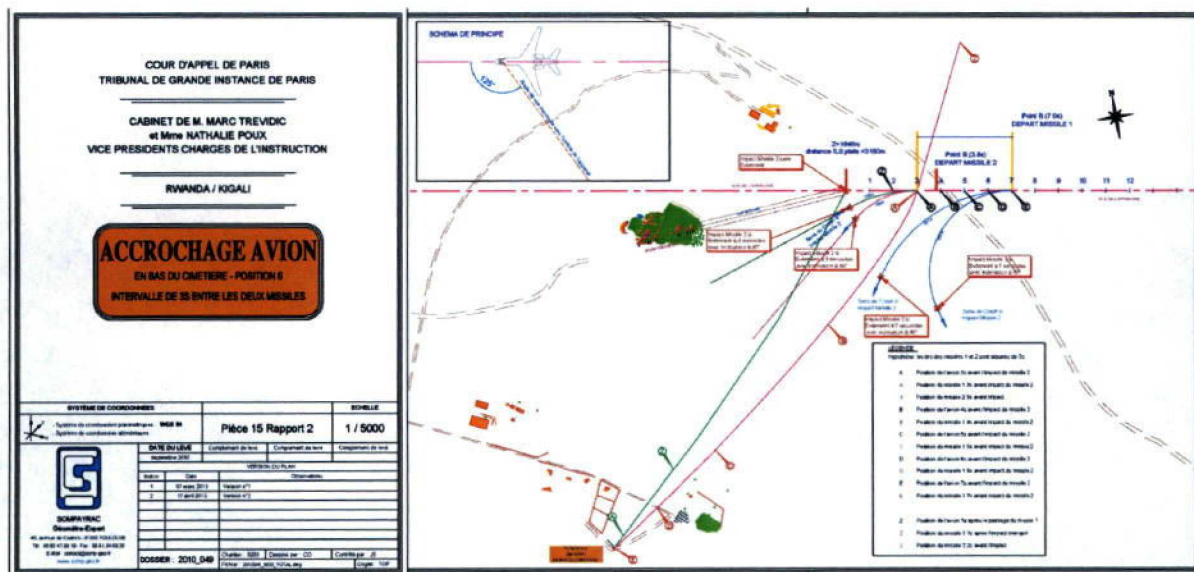


(planche jointe en annexe)

2.5.6 Point de tir « **KANOMBE** » - En bas du cimetière – Position 6



(planche jointe en annexe)



(planche jointe en annexe)

2.6 Relevés dans le cockpit d'un Falcon 50 pour matérialiser le champ de vision de l'équipage

Il nous est apparu indispensable de caractériser le champ de vision du pilote et du copilote du Falcon 50, de manière à pouvoir évaluer s'ils avaient la possibilité de déceler visuellement le premier missile :

- par sa signature lumineuse produite lors de son lancement,
- par sa trace lumineuse laissée par le propulseur au cours de sa trajectoire.

Pour ce faire, le relevé du poste de pilotage d'un Falcon 50 s'imposait.

2.6.1 Déplacement sur le site DASSAULT à Mérignac

Trois d'entre nous, Claudine OOSTERLINCK, Olivier CHAVANIS et Jean SOMPAYRAC accompagné de son collaborateur géomètre Vincent COUGNENC, se sont transportés à Mérignac, dans les locaux de DASSAULT AVIATION, le 14 janvier 2013 après midi, afin de relever à l'aide du Scanner 3D l'intérieur du cockpit d'un Falcon 50.

Le Falcon 50 qui nous a été présenté avait les mêmes caractéristiques que l'avion présidentiel abattu. Il était en cours de modification, mais était pourvu du siège du pilote.

Claudine OOSTERLINCK, expert pilote, s'est assise et a réglé le siège pour positionner les repères sous forme d'un alignement de trois boules correspondant aux yeux du pilote. C'est cet alignement qui détermine le champ visuel du pilote. Nous avons relevé la hauteur de ses yeux par rapport au plancher du Falcon qui se situent à 1,10 m.

2.6.2 Mise en œuvre des relevés

Nous avons utilisé un scanner laser 3D LEICA HDS 7000.



Cet appareil permet de mesurer avec précision tout objet dans le champ visuel de l'appareil (360° autour de ce dernier). Cet appareil a une portée maximale de 187m et minimale de 30 cm. Le scanner relève environ 500 000 points par seconde avec une précision de l'ordre du millimètre. Nous avons fait plusieurs scans à l'intérieur du Falcon pour s'affranchir des zones d'ombres.

Ces zones d'ombres sont dues à la portée du scanner, celui-ci ne prenant pas de points à moins de 30 cm de l'appareil, et aux masques existants, car un objet caché derrière un autre ne sera pas vu par le scanner.

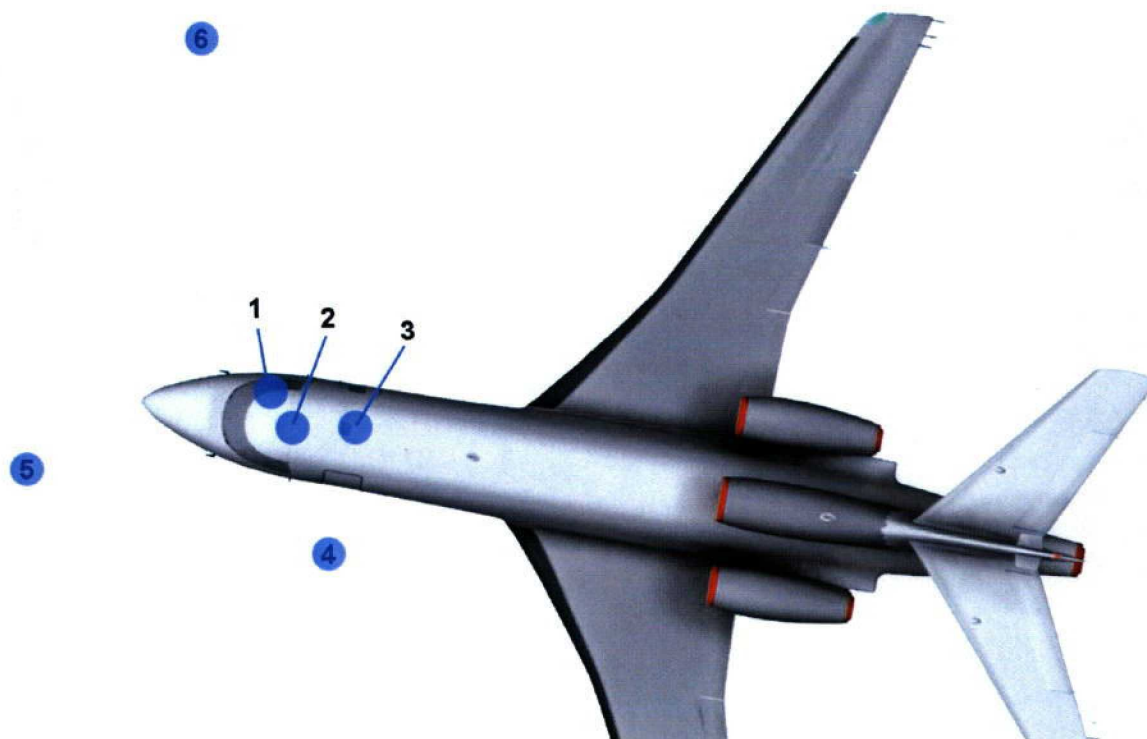
Nous avons fait 3 scans dans le cockpit et un en face de la porte extérieure. Nous avons aussi réalisé 3 autres scans extérieurs afin de relever l'extérieur du cockpit.

2.6.3 Traitement des relevés effectués

Sur l'image ci-dessous, nous représentons les 6 positions du scanner :



Viewer 3D - FALCON



Afin de pouvoir assembler les nuages de points entre eux, il est nécessaire d'avoir au minimum 3 points communs. Aussi, nous avons disposé au préalable des cibles destinées à être relevées et visibles de plusieurs stations (cibles papier au format A4 ou sphères).

Au bureau et après avoir stocké les nuages de points sur l'ordinateur, nous avons procédé à l'assemblage des nuages à l'aide du logiciel Cyclone. C'est le traitement des relevés effectués.

Au fur et à mesure de l'assemblage des diverses stations du Scanner, le nuage de points global prend forme.

La précision de l'assemblage est inférieure au centimètre comme on peut le voir sur le récapitulatif de l'assemblage ci-dessous.

Constraint ID	ScanWorld	ScanWorld	Type	Status	Weight	Error	Error Vector	Group
Cloud/Mes...	Station 1: Falc...	Station 1: Falc...	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud...	On	1.0000	0.000 m	aligned [0.007 m]	Ungrouped
Cloud/Mes...	Station 1: Falc...	Station 1: Falc...	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud...	On	1.0000	0.000 m	aligned [0.007 m]	Ungrouped
Cloud/Mes...	Station 1: Falc...	Station 1: Falc...	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud...	On	1.0000	0.000 m	aligned [0.008 m]	Ungrouped
Cloud/Mes...	Station 1: Falc...	Station 1: Falc...	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud...	On	1.0000	0.000 m	aligned [0.006 m]	Ungrouped
Cloud/Mes...	Station 1: Falc...	Station 1: Falc...	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud...	On	1.0000	0.000 m	aligned [0.006 m]	Ungrouped

Nous représentons ci-après quelques images du rendu final du nuage de points (en données brutes) :



Afin d'avoir un meilleur rendu des objets relevés, nous avons transformé les nuages de points pour qu'ils soient visibles sur un viewer 3D. Cette opération permet de regarder tous les objets relevés par le scanner et de pouvoir relever les distances et dénivelées réelles.

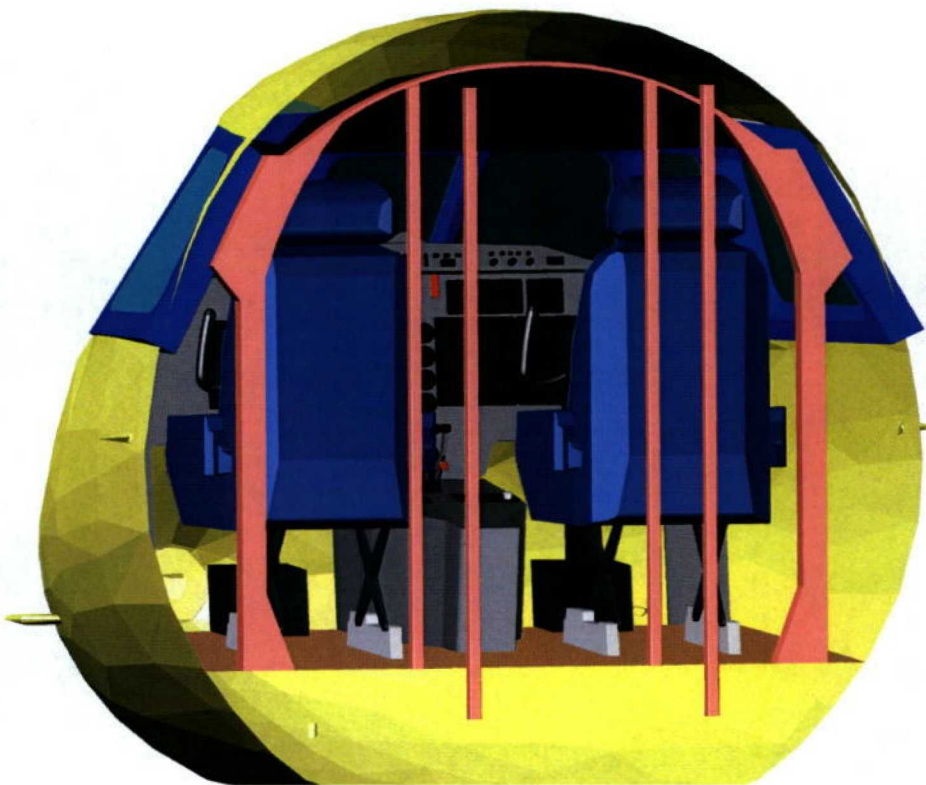
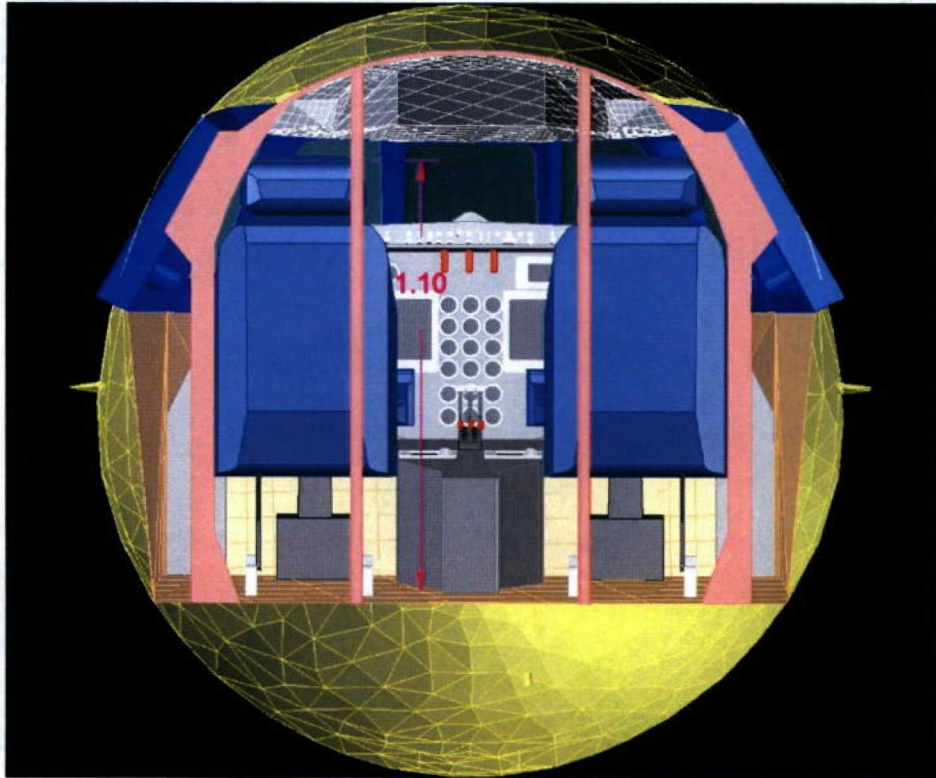
Voici ce qui est obtenu du viewver 3D associé au scanner 3D :

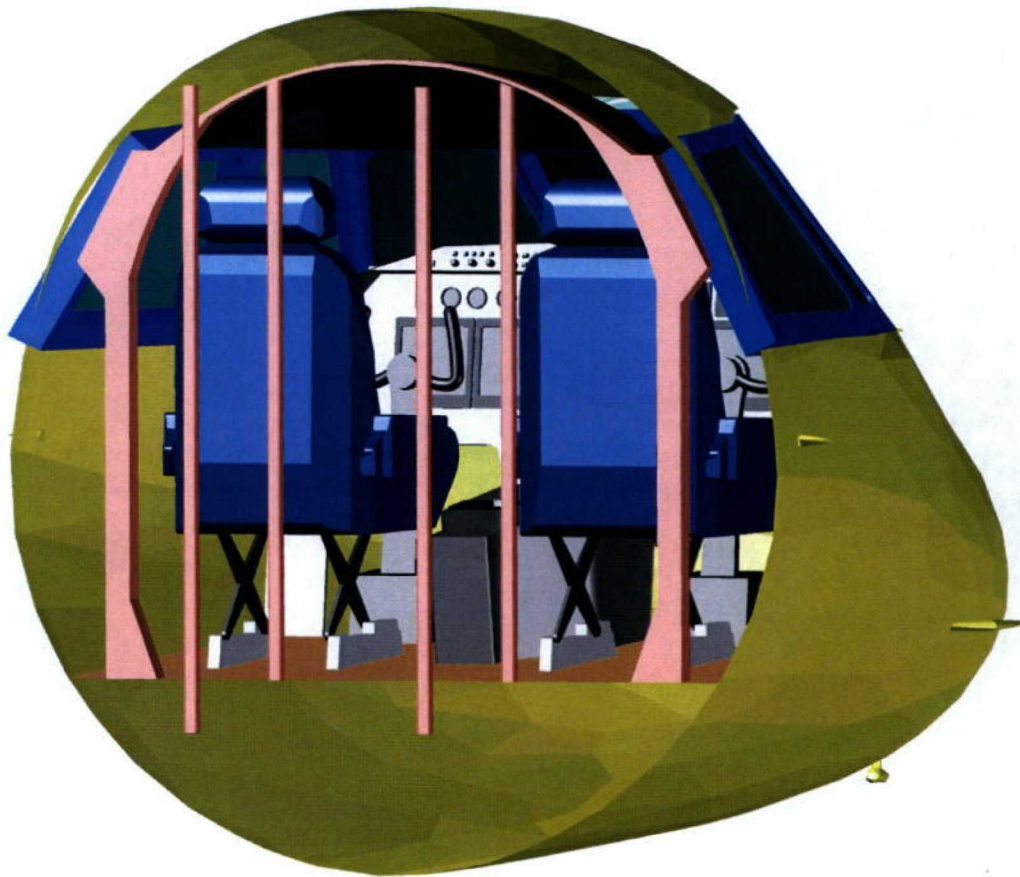




Le relevé sur site et le traitement des nuages étant terminés, l'opération consistant à modéliser sous 3DSMAX le poste de pilotage avec les ouvertures a été entreprise.

Cette opération nous a permis de modéliser les sièges, le tableau de bord, les ouvertures et de positionner deux caméras situées à 1,10 m (position des yeux du pilote) du plancher de l'avion pour simuler la position du pilote et du co-pilote.





2.7 Perception de la menace : premier missile

Toute manœuvre d'évitement n'a pu être entreprise par l'équipage qu'à condition d'avoir décelé le premier missile par sa trace lumineuse sur trajectoire ou son flash au départ du coup.

Il a été établi que le premier missile a manqué sa cible. Par contre, aucun témoin n'a pu indiquer dans quel secteur autour de l'avion il était passé. Pour évaluer si l'équipage avait pu apercevoir ce premier missile, le collège d'experts a considéré qu'il convenait de retenir quatre trajectoires possibles autour et à proximité de l'avion, à 5 mètres de distance de celui-ci :

- à l'arrière ou à droite ⇒ représentation du missile de couleur verte,
- à l'avant ou à gauche ⇒ représentation du missile de couleur jaune,
- sur le dessus ⇒ représentation du missile de couleur rouge,
- en dessous ⇒ représentation du missile de couleur bleue.

Cette valeur de 5 mètres a été retenue car elle correspond à une distance au-delà de laquelle le système de mise à feu des missiles deuxième génération : famille des SA16, SA18, Mistral, Stinger, etc, est inopérant.

C'est sur ces bases que notre étude et reconstitution ont été conduites. Comme précédemment, nous avons effectué, suivant le même principe, un exécutable qui permet d'observer à la place du pilote et du co-pilote, le passage du premier missile. Seules les trajectoires du premier missile ont été calculées à partir de la position 3 « Masaka – Le Pylône » et de la position 6 « Kanombé – Bas du cimetière ». Ces deux positions sont caractéristiques des zones de tir dites de Kanombé et de celles dites de Masaka. Effectivement, les trajectoires des missiles passant au niveau de l'avion, tirés des autres points, sont sensiblement identiques et, en conséquence, il n'était pas nécessaire de compliquer inutilement la modélisation.

2.7.1 Remarques préliminaires sur les moteurs des missiles

Rappel des faits : plusieurs témoins confirment qu'il y a un départ de missile et un second missile atteint sa cible (cote D6, D45, D2575, D2715, D2740, D2780, D4967, D7149...).

Rappel sur les missiles Manpad

Ils sont constitués de la façon suivante (page 199 du rapport initial):

- un éjecteur missile (temps de combustion de 0,4s pour une distance de 8m),
- un moteur d'accélération dans le missile (temps de combustion de 1,7 pour une distance de 350m),
- un moteur principal dit moteur de croisière (temps de combustion max de 5,5s pour une distance de l'ordre de 3000m).

Temps de combustion des moteurs

Le temps de combustion des différents blocs moteurs est très limité, ainsi en fin de combustion du propulseur principal, le missile commence son vol balistique puis l'autodestruction se déroule de l'ordre de 15 secondes après le départ soit un vol libre pouvant atteindre 15 à 20 secondes maximum (page 199 du rapport).

Afin de pouvoir répondre à notre lettre de mission, nous avons donc recalculé, depuis les différents points de tir, le temps de combustion du moteur principal après dépassement de la cible car, il convient de noter que si le missile manque sa cible la flamme du moteur reste visible de nuit dans l'espace tout le temps de la combustion. Cette trainée, flamme ou chandelle peut dans certains cas être visible depuis le poste de pilotage.

Partant des six points de tir cités dans le rapport initial (Page 243 à 256) nous avons recalculé la combustion restante du bloc moteur principal du premier missile après dépassement de sa cible ce qui nous donne le tableau suivant :

Position de tir	Temps de vol Départ => cible	Temps de combustion après la cible	Distance parcourue par le missile après la cible
Tir n° 1 Kanombé (proche maison Pasuch)	3,5 s	4,1 s	2 240 m
Tir n° 2 Cimetière de Kanombé	3,5 s	4,1 s	2 240 m
Tir n° 3 Pylône de Masaka	5,5 s	2,1 s	1 140 m
Tir n° 4 Ferme de Masaka	6,5 s	1,1 s	600 m
Tir n° 5 La porcherie	2,5 s	5,1 s	2 780 m
Tir n° 6 Bas du cimetière de Kanombé	3,8 s	3,8 s	2 070 m

Il est important de noter que missile garde en mémoire son axe de tir sur la base de la dernière position de sa cible, s'il dépasse sa cible pour différentes raisons sans la toucher et à une distance supérieure à cinq mètres, le missile continue sur son axe tant que le moteur le pousse, puis après un certain temps de vol balistique l'autodestruction fait son œuvre.

Aspect visuel lié aux propulseurs

De jour, d'un point de vue visuel c'est généralement :

- le flash d'allumage du propulseur d'éjection (photo 1 et 2) et la fumée qui s'en dégage permettent d'identifier le point de départ du missile de jour comme de nuit (photo 5),
- le moteur d'accélération et la fumée du propulseur permet de suivre le missile suivant la météo (photo 3, 4, 12),

- le moteur de croisière est plus difficilement visible (photo 4) suivant les conditions météo mais reste clairement identifiable par les systèmes modernes de détection.



Photo1 - Départ d'un missile SA18 (moteur identique au SA16)



Photo 2 - Départ d'un missile SA18



Photo 3 - Allumage du moteur d'accélération avec la fumée au démarrage



Photo 4 - Le missile arrive sur sa cible

Noter de jour par bonne luminosité la faible visibilité de la flamme du propulseur et la trainée de fumée.

De nuit, visuellement:

- le flash de départ est difficilement visible sauf au sol à proximité du point de départ du missile, ce flash de départ reste toutefois plus difficile à identifier depuis les airs sachant qu'il faudrait le différencier des feux environnant comme les phares de véhicules ou tout autre lumière venant du sol dont les éclairages de maisons, etc...).

- le propulseur comparable à une chandelle qui monte rapidement sera par contre très visible durant tout le temps de combustion mais ce temps reste très limité (5,5 s). Cette flamme provenant du propulseur sera facilement visible latéralement à l'axe de tir mais difficilement identifiable depuis la cible. Par contre, face au missile, le halo de lumière émis par le propulseur est bien moins visible, voire difficilement perceptible.

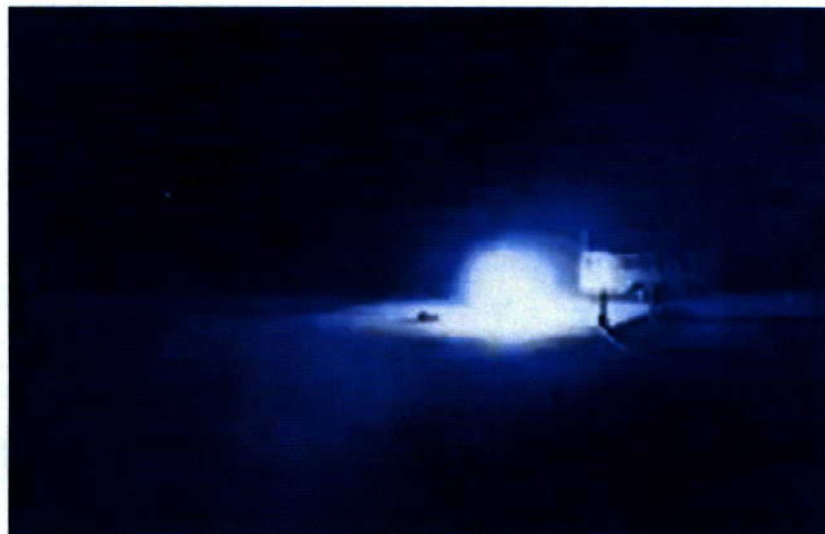


Photo 5 – Allumage de l'éjecteur missile



Photo 6 - Démarrage du moteur d'accélération



Photo 7 - Fin d'allumage du moteur d'accélération



Photo 8 - Vol de croisière du missile



Photo 9 - Passage du missile derrière un nuage



Photo 10 - Explosion du missile sur une cible inerte

Par cible inerte sur la dernière photo, il faut comprendre que la cible est un petit engin téléguidé sans carburant pouvant amplifier l'explosion.

Dimensionnement de la flamme du propulseur :

D'après les différents films pouvant exister sur le sujet nous avons extrait la photo suivante ce qui nous permet d'estimer la longueur de la flamme du propulseur de l'ordre de 1m à 1,5m d'après la taille du missile lors du départ du missile.

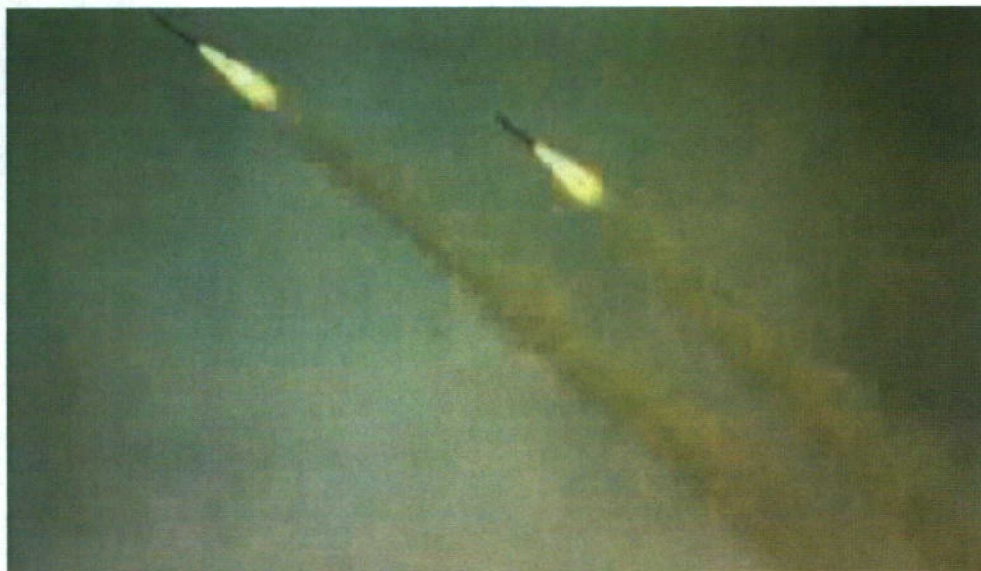


Photo 11 – Vol de deux missiles par temps gris en phase d'accélération (flamme plus longue)

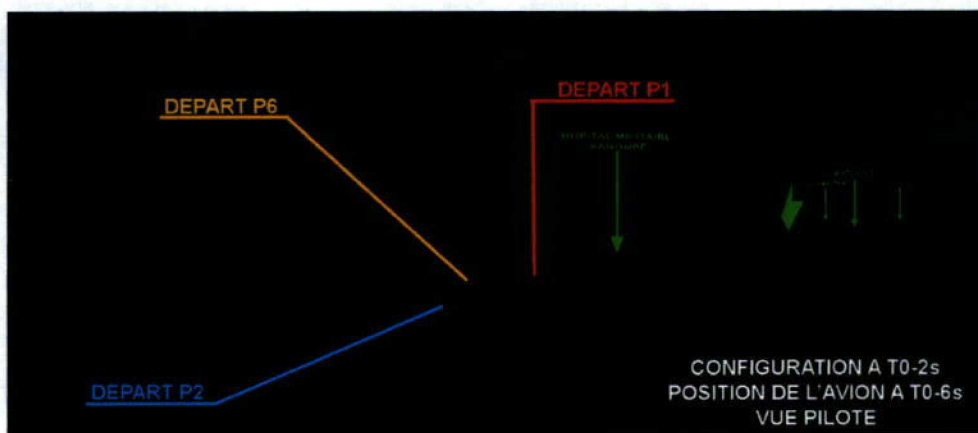
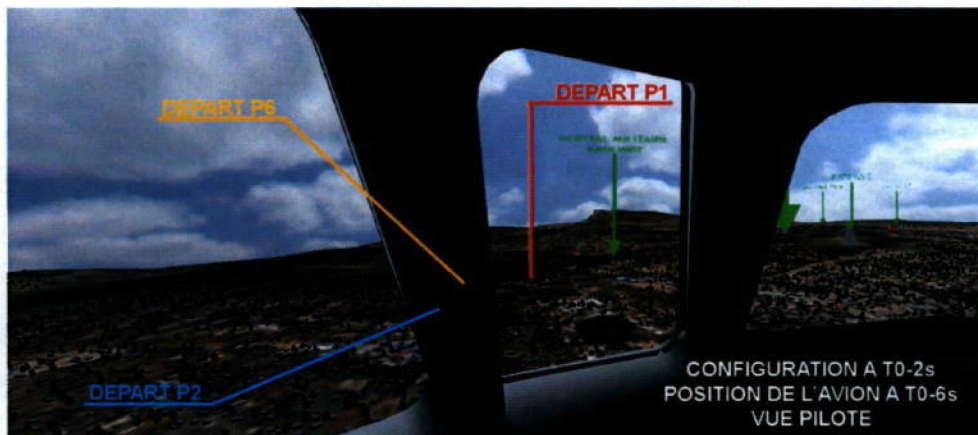
2.7.2 Perception du premier missile par le pilote et le co-pilote dans la configuration

T0 -2s

KANOMBÉ

► Perception des positions de tirs de **KANOMBE** depuis le poste de pilotage : positions 1, 2 et 6 : voir planches pièce 4 rapport 2, pièce 6 rapport 2 et pièce 14 rapport 2, présentées précédemment et jointes en annexes

Nous avons positionné l'avion dans une situation où l'équipage avait la possibilité de remarquer le départ du premier missile tiré du secteur de KANOMBE. L'avion se trouve entre 6,1s et 7,1s de T0, ce qui est indiqué sur les plans. Pour simplifier notre simulation sans dénaturer notre démarche, nous avons positionné l'avion à T0 -6s environ, d'où les images qui suivent extraites de la modélisation.



Le pilote pouvait donc apercevoir ces points de tirs et pouvait éventuellement détecter l'effet lumineux produit par le départ d'un missile.

Mais, comme nous l'avons précédemment indiqué, il est difficile de repérer, même la nuit, un missile arrivant de face, la traînée lumineuse au calibre de l'engin se trouvant à l'arrière et le flash du départ étant très fugitif.

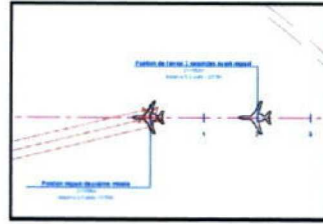
Par contre, le copilote ne pouvait pas apercevoir ces trois points de tir.

► **Passage du premier missile au niveau de l'avion, tiré de *KANOMBE* : position 6**

Le missile arrive à hauteur de l'avion à T0 -2s. Nous avons figuré ce missile, positionné pour nos travaux, autour de l'avion, ce que nous avons précédemment défini avec un code de couleurs : voir les trois planches qui suivent.

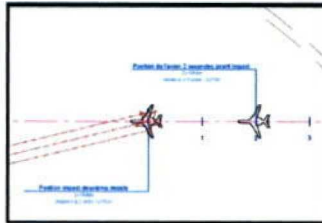


CONFIGURATION T0-2s



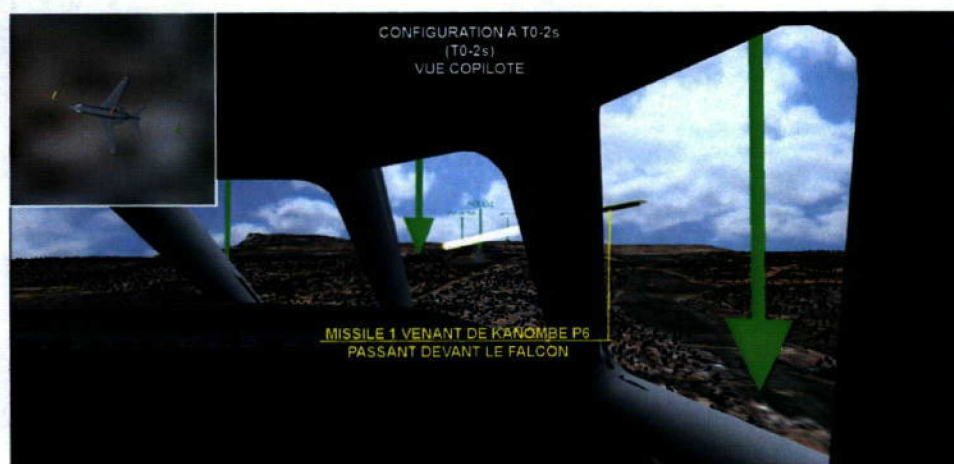
MISSILE VENANT DE KANOMBE

CONFIGURATION T0-2s



MISSILE VENANT DE KANOMBE

Que peuvent voir le pilote et le co-pilote ?





Commentaire :

Le pilote et le co-pilote voient passer devant eux, de gauche à droite, le missile à l'avant du cockpit. Ils ne peuvent pas voir les autres hypothèses de missiles. Compte tenu de la traînée lumineuse du propulseur bien visible par le travers, cet équipage était obligé de voir le missile et en conséquence d'engager rapidement la manoeuvre d'évitement.

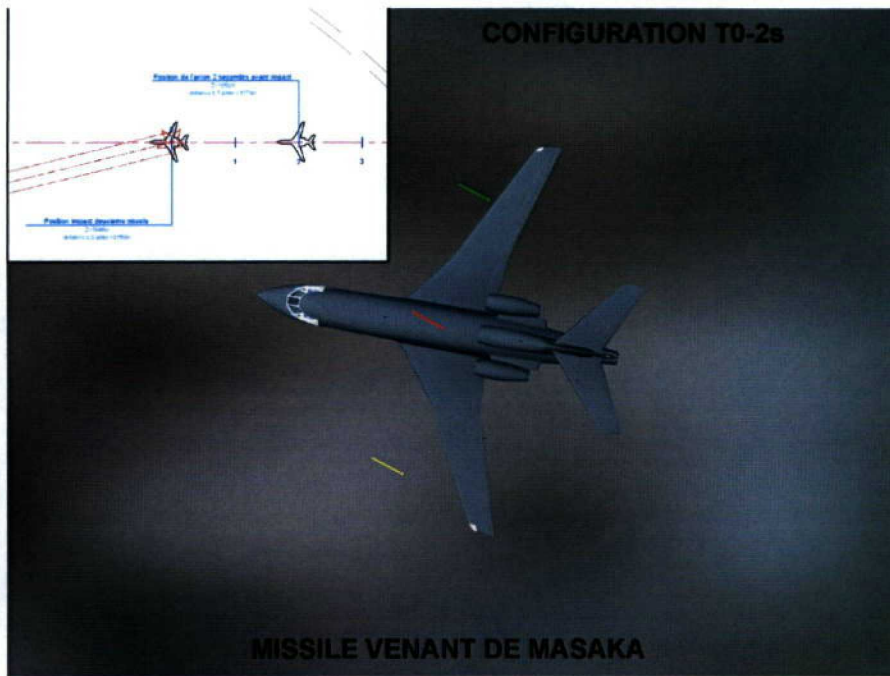
MASAKA

► **Perception des positions de tirs de MASAKA depuis le poste de pilotage : positions 3 et 4 : voir planches pièce 8 rapport 2 et pièce 10 rapport 2**

Compte tenu de ces lieux de tir, vis-à-vis de la position de l'avion, l'équipage ne pouvait pas apercevoir le départ du premier missile. C'est ce qui a été mentionné sur ces planches auxquelles il convient de se rapporter.

► **Passage du premier missile au niveau de l'avion, tiré de MASAKA, position 3**

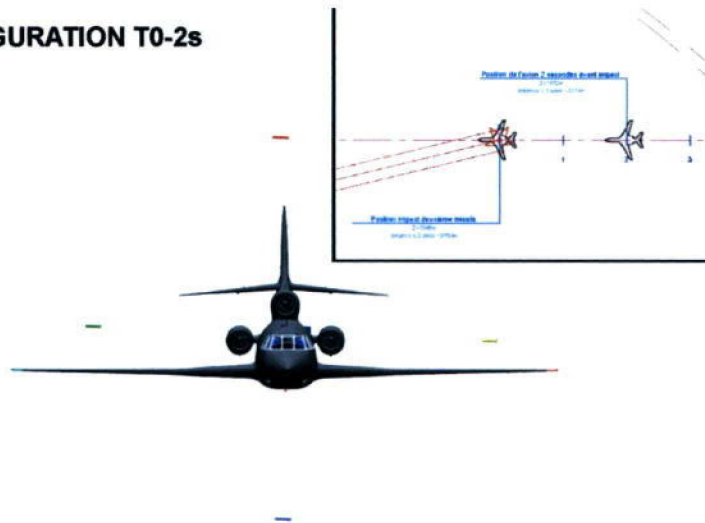
A T0 -2s, le missile arrive à hauteur de l'avion. Nous avons figuré ce missile positionné pour nos travaux autour de l'avion, ce que nous avons précédemment défini avec un code de couleurs : voir les trois planches qui suivent.



CONFIGURATION T0-2s

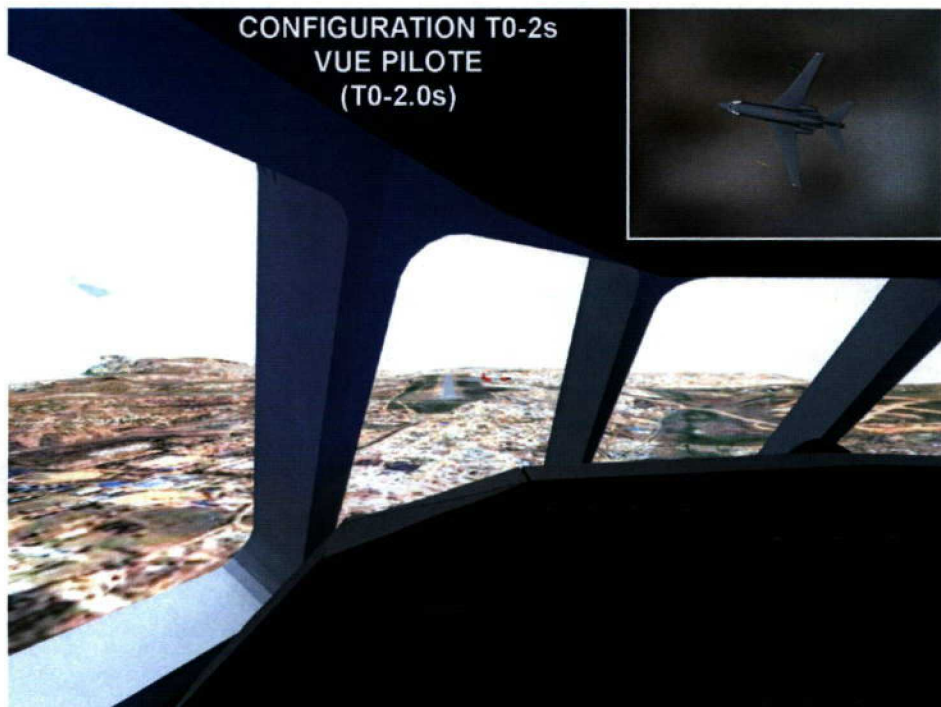


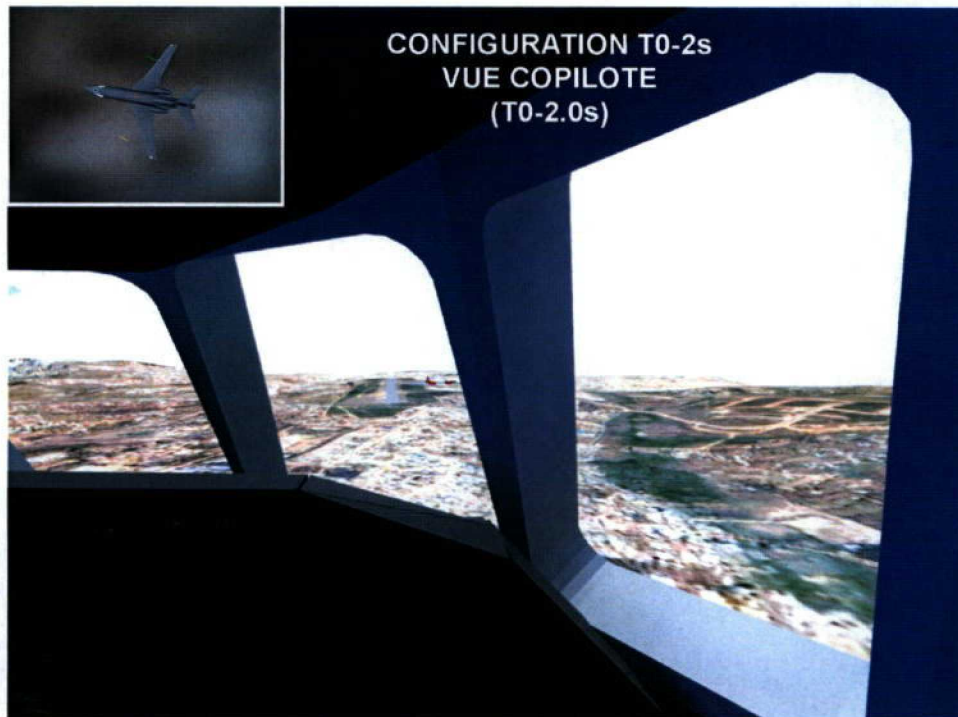
CONFIGURATION T0-2s



MISSILE VENANT DE MASAKA

Que peuvent apercevoir le pilote et le co-pilote ?



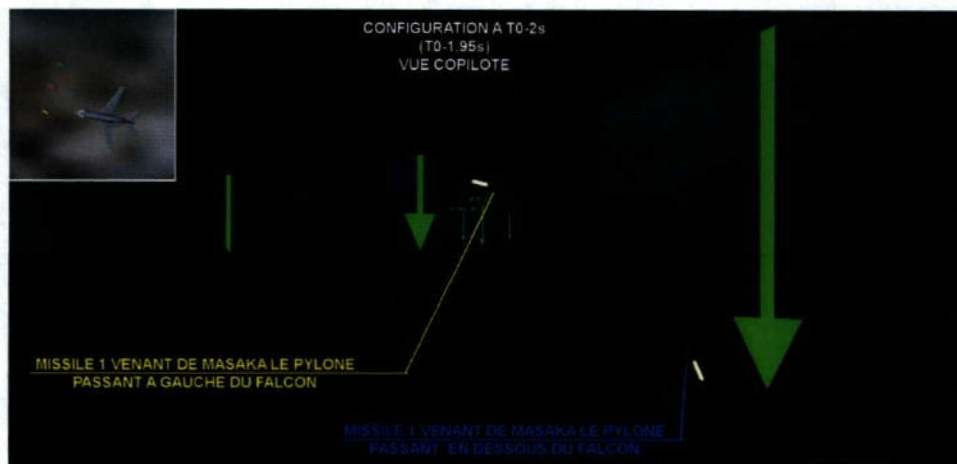


Commentaire :

A cet instant T0 -2s, l'équipage ne voit pas le missile.

T0 -1.95s





Commentaire :

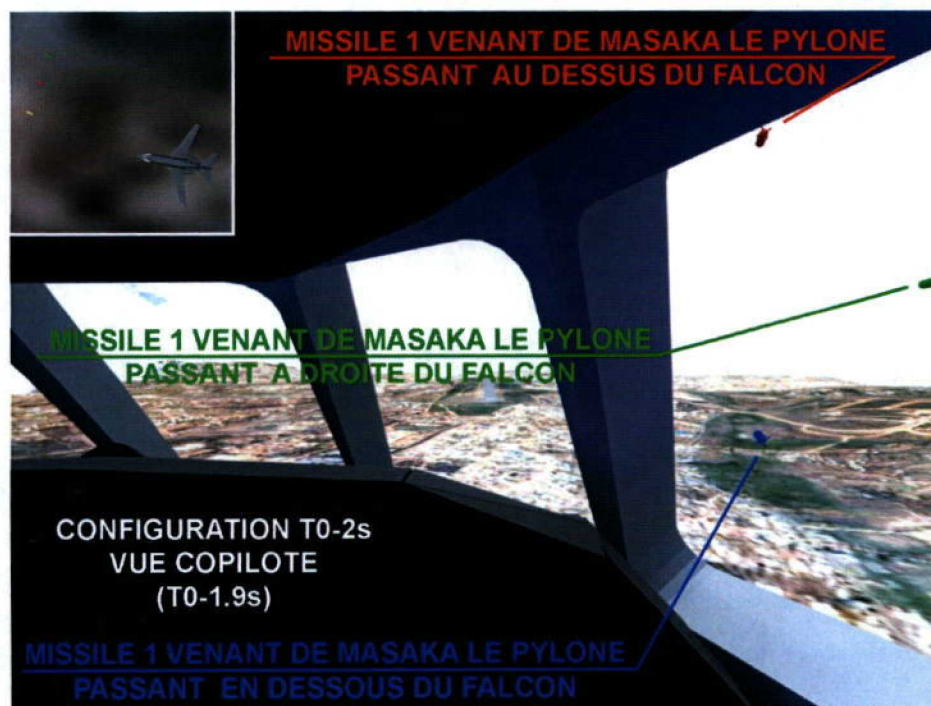
Le pilote et le co-pilote aperçoivent, à T0 -1,95s, le missile, se déplaçant de gauche à droite, passant par la gauche de l'appareil.

T0 -1,90s



Commentaire :

Le pilote aperçoit le missile passant par la gauche et celui passant en dessous :



Commentaire :

Le co-pilote aperçoit le missile passant en dessous, au-dessus et à droite de l'appareil. Il n'aperçoit plus celui qui est passé à gauche.

T0 -1,85s



Commentaire :

Le pilote aperçoit le missile passant en dessous et à droite de l'avion. Il n'aperçoit plus celui qui est passé à gauche.

Nota : la visualisation possible du missile à T0 -1,80s est comparable à celle de T0 -1,85s.



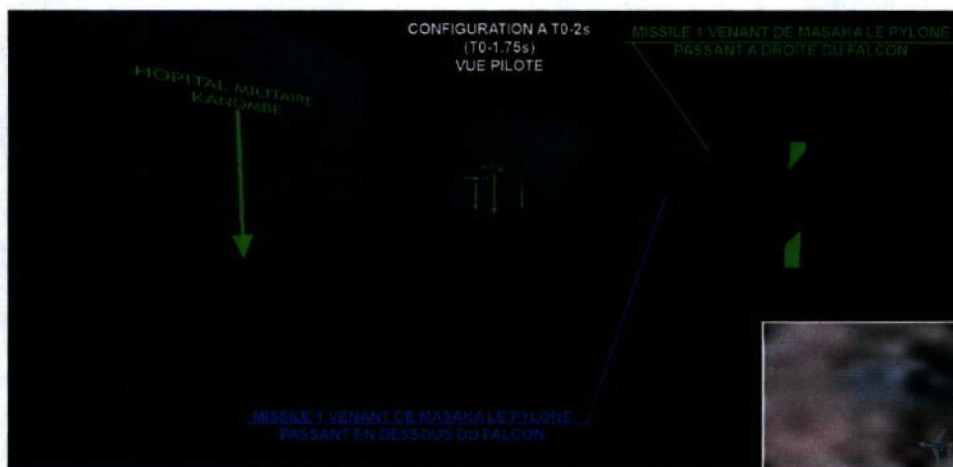
Commentaire :

Le co-pilote aperçoit le missile passant en dessous, au-dessus et à droite de l'appareil.

T0 -1,80s

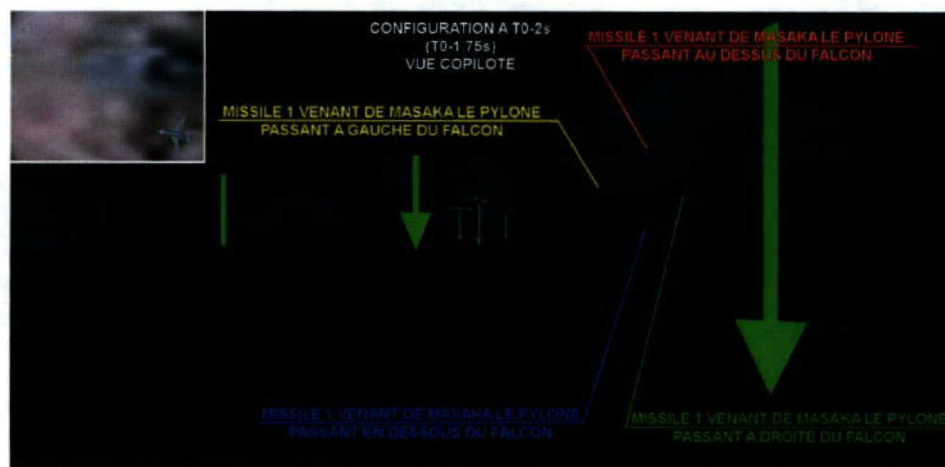
Le T0 -1,80s est idem que T0 -1,85s

T0 -1,75s



Commentaire :

Le pilote aperçoit le missile passant en dessous et celui de droite.



Commentaire :

Le co-pilote aperçoit le missile passant soit à gauche, droite, dessus et dessous.

A T0 -1,75s, l'équipage peut apercevoir tout missile tiré de MASAKA, qu'il passe par la droite, la gauche, le dessous ou le dessus de l'appareil. A partir de cet instant, l'équipage pouvait donc engager une manœuvre d'évitement, en sachant qu'à T0 -1,95s, l'éventualité d'un missile passant à gauche de l'avion est déjà décelée par le pilote et le co-pilote.

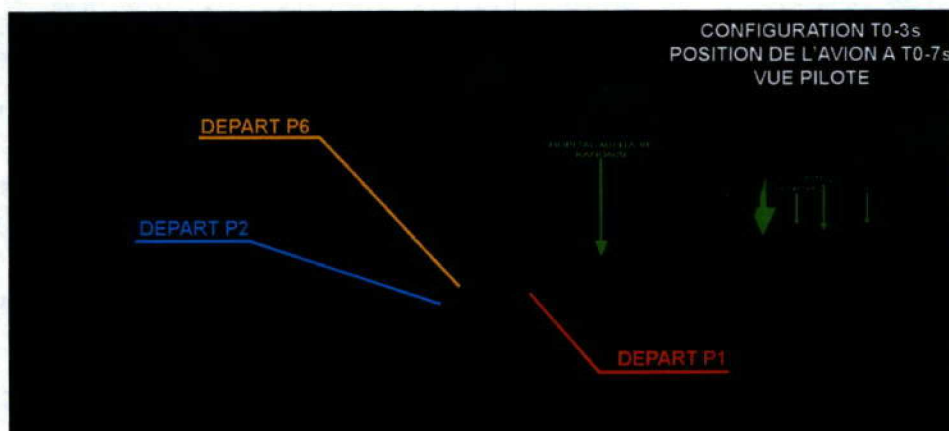
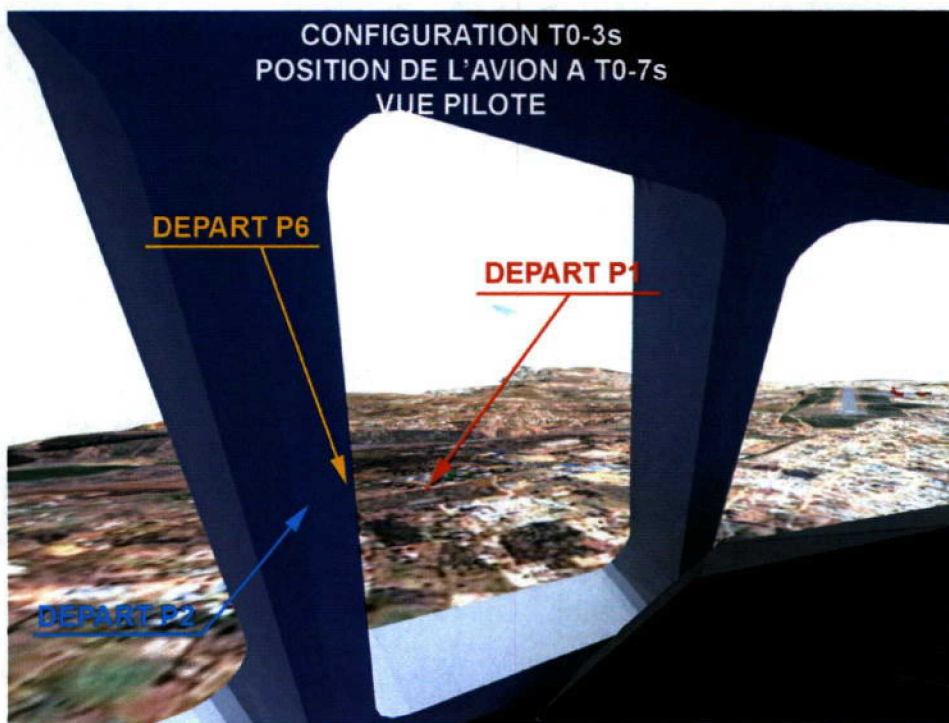
2.7.3 Perception du premier missile par le pilote et le co-pilote dans la configuration

T0 -3s

KANOMBÉ

- Perception des positions de tirs de **KANOMBE** depuis le poste de pilotage :
positions 1, 2 et 6 : voir les planches pièce 5 rapport 2, pièce 7 rapport 2 et pièce 15 rapport 2

L'avion se trouve à T0 -7s -8s environ, d'où les images suivantes extraites de la modélisation en retenant T0 -7s.



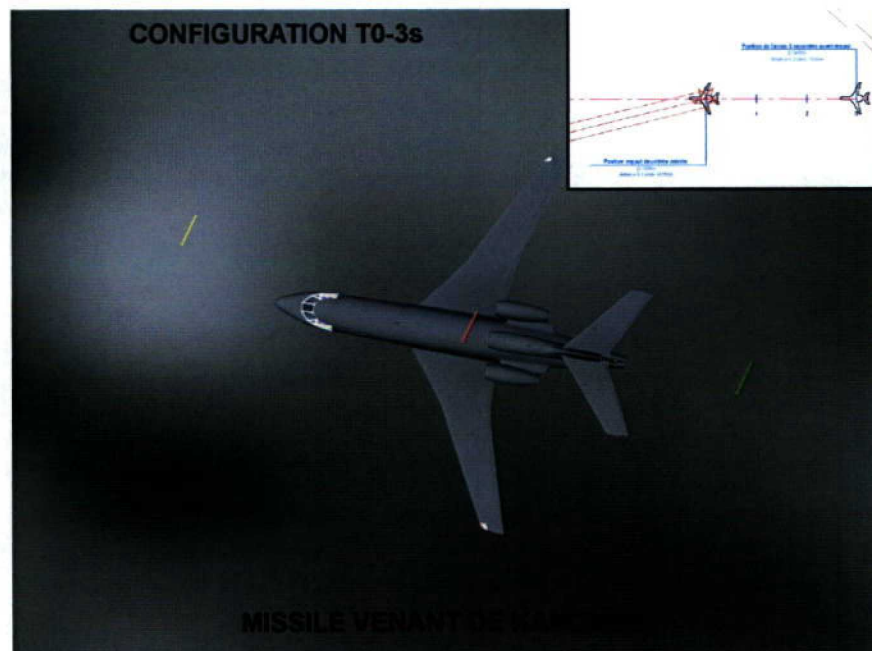
Commentaire :

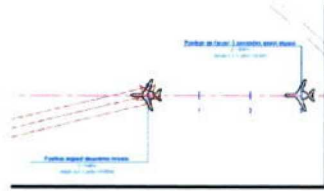
Le pilote pouvait donc apercevoir ces points de tirs et pouvait éventuellement détecter l'effet lumineux produit par le départ du missile. Mais, comme nous l'avons précédemment indiqué, il est difficile de repérer, même la nuit, un missile arrivant de face, la traînée lumineuse au calibre de l'engin se trouvant à l'arrière et le flash du départ étant très fugitif.

Par contre, le co-pilote ne pouvait pas apercevoir ces points de tirs.

► **Passage du premier missile au niveau de l'avion, tiré de KANOMBE, position 6**

Le missile arrive à hauteur de l'avion à T0 -3s. Nous avons figuré ce missile positionné pour nos travaux autour de l'avion, ce que nous avons précédemment défini avec un code de couleurs : voir les trois planches qui suivent :



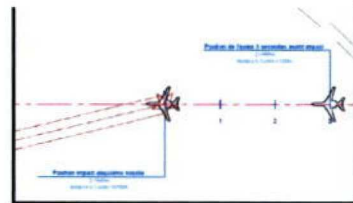


CONFIGURATION T0-3s



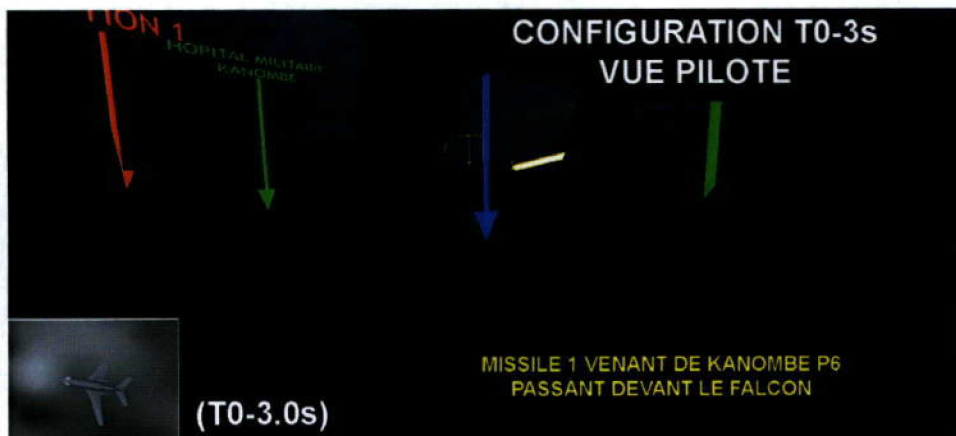
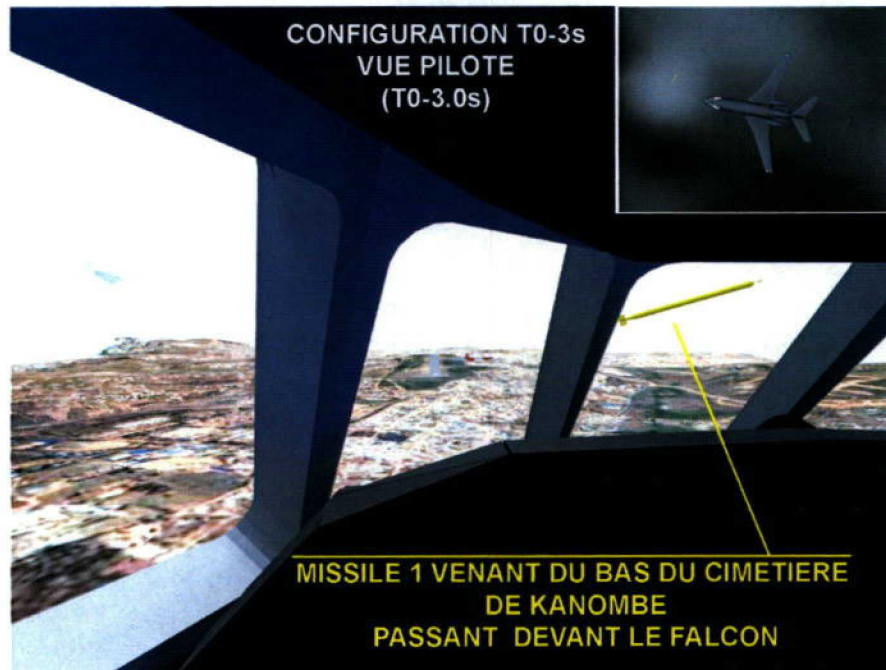
MISSILE VENANT DE KANOMBE

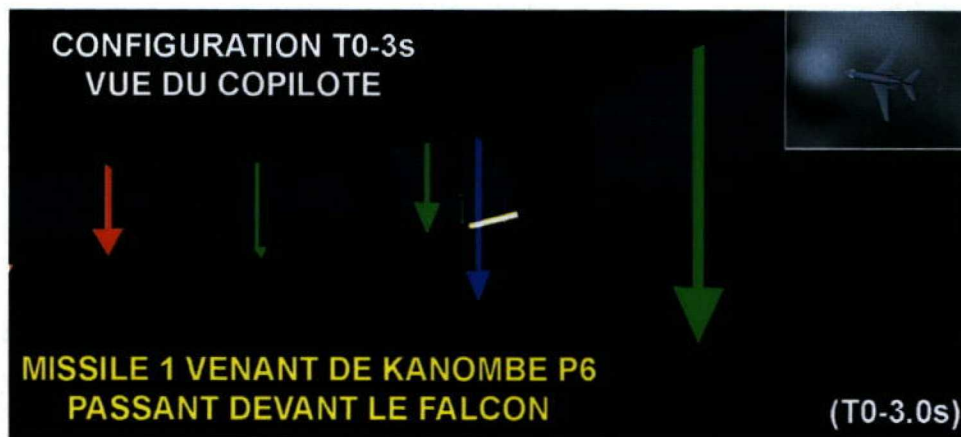
CONFIGURATION T0-3s



MISSILE VENANT DE KANOMBE

Que peuvent voir le pilote et le co-pilote ?





Commentaire :

Le pilote et le co-pilote voient passer devant eux, de gauche à droite, le missile à l'avant du cockpit. Ils ne peuvent pas voir les autres hypothèses de missiles. Compte tenu de la traînée lumineuse du propulseur bien visible par le travers, cet équipage était obligé de voir le missile et en conséquence d'engager rapidement la manoeuvre d'évitement.

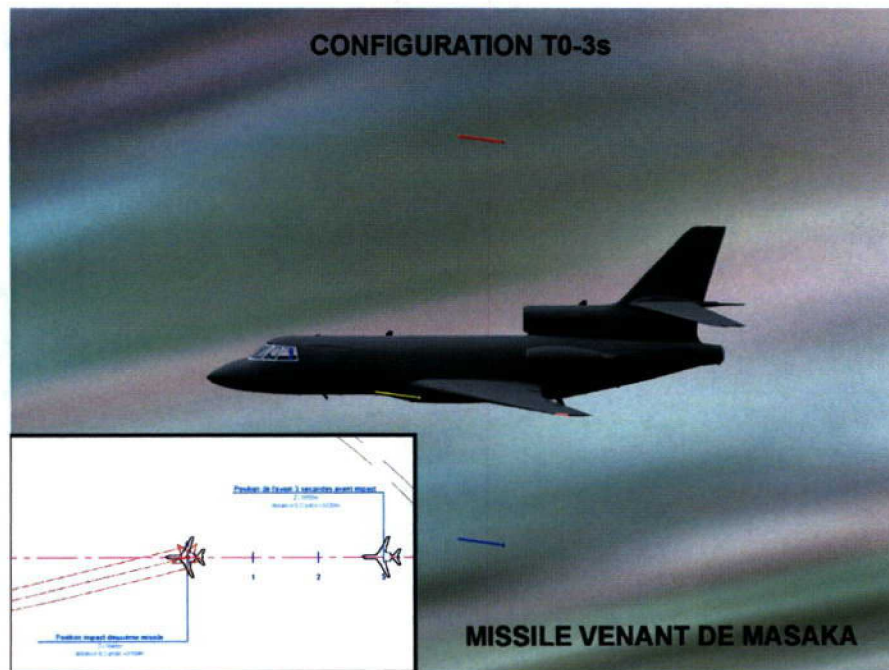
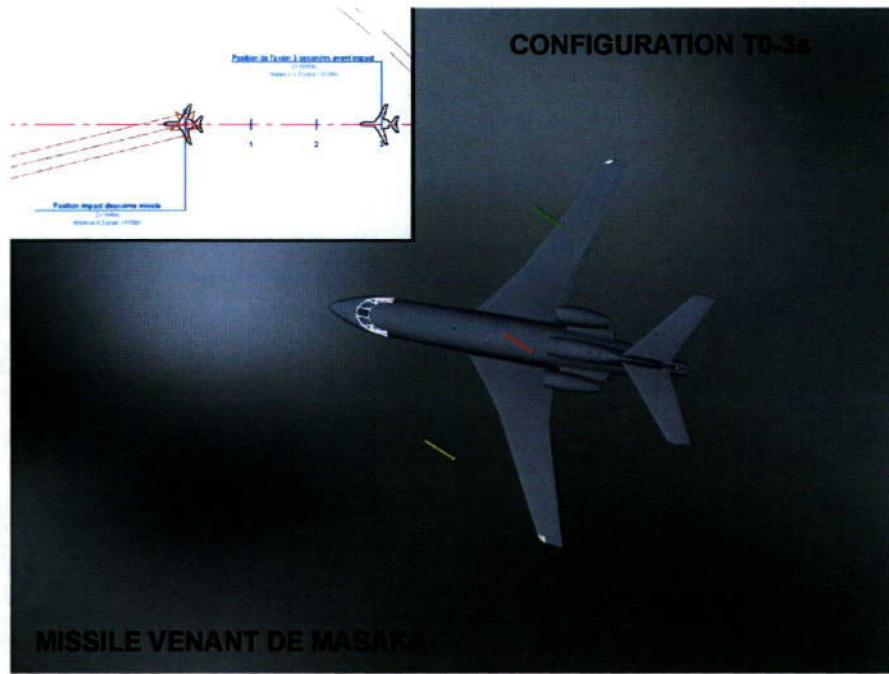
MASAKA

- **Perception des positions de tirs de MASAKA depuis le poste de pilotage :**
positions 3 et 4 : voir les planches pièce 8 rapport 2, pièce 9 rapport 2, pièce 10 rapport 2 et pièce 11 rapport 2

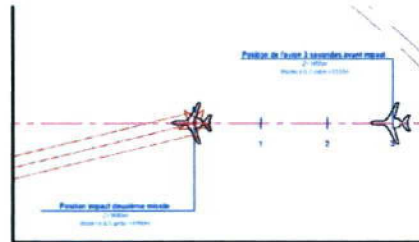
Compte-tenu de ces lieux de tirs, vis-à-vis de la position de l'avion, l'équipage ne pouvait pas apercevoir le départ du premier missile. C'est ce qui a été mentionné sur ces planches auxquelles il convient de se rapporter.

- **Passage du premier missile au niveau de l'avion, tiré de MASAKA, position 3**

A T0 -3s, le missile arrive à hauteur de l'avion. Nous avons figuré ce missile positionné pour nos travaux autour de l'avion, ce que nous avons précédemment défini avec un code de couleurs : voir les trois planches qui suivent :



CONFIGURATION T0-3s



MISSILE VENANT DE MASAKA

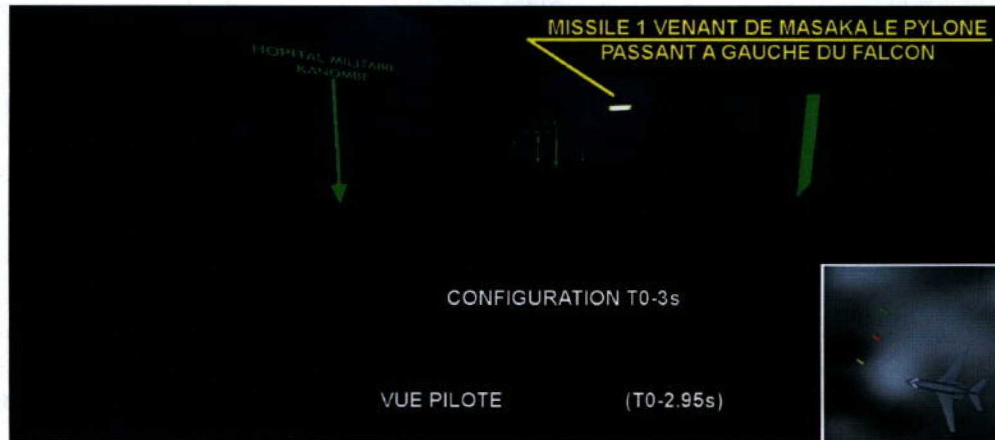
Commentaire :

L'équipage ne peut pas apercevoir le missile.

T0 -2,95s

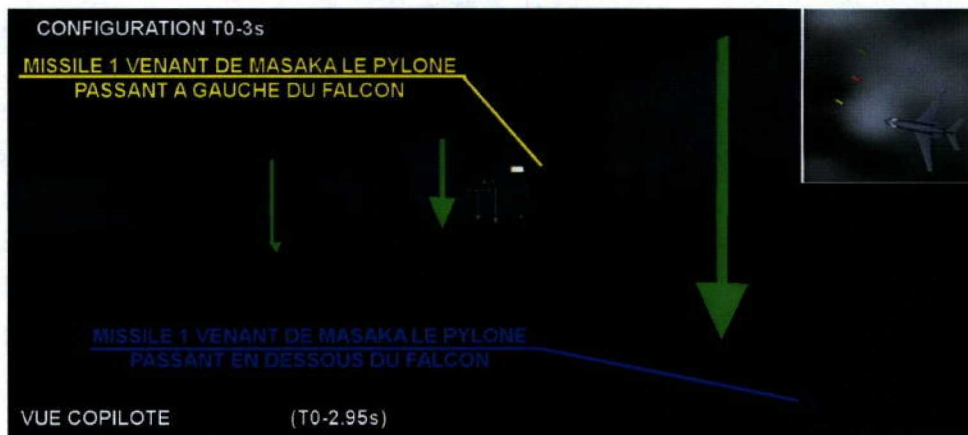
Que peuvent apercevoir le pilote et le co-pilote ?





Commentaire :

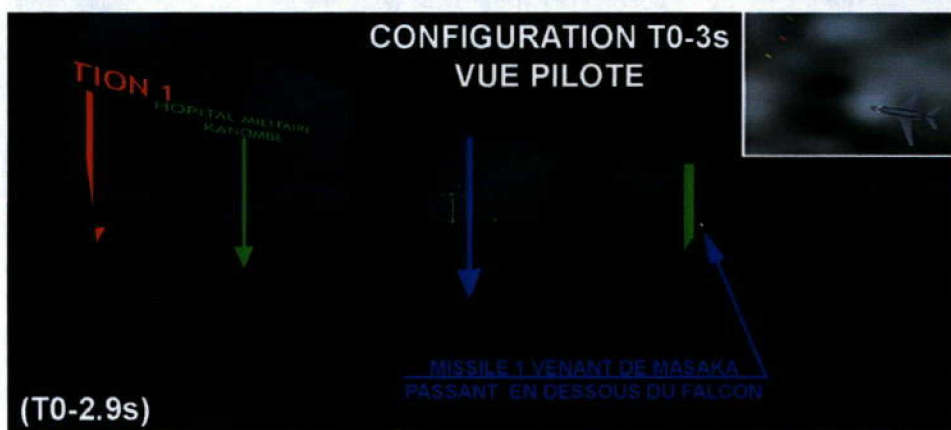
Le pilote voit le missile se déplaçant de gauche à droite, passant à gauche de l'avion.



Commentaire :

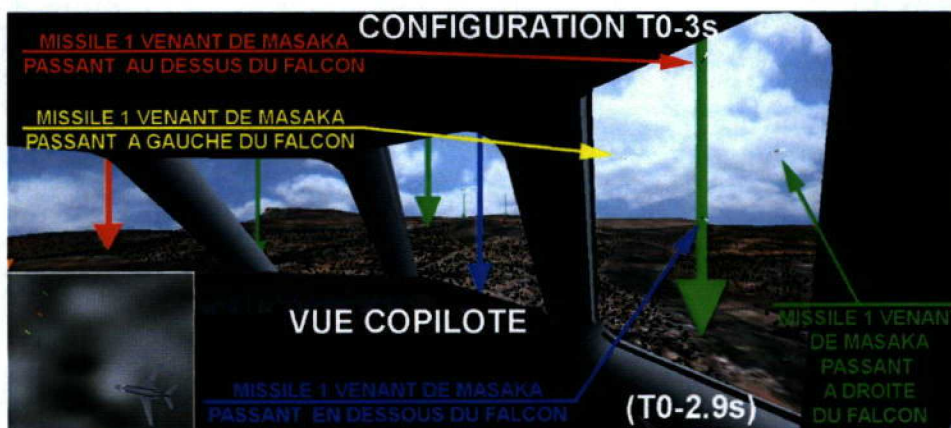
Le co-pilote voit le missile, se déplaçant de gauche à droite, passant par la gauche et en dessous de l'appareil.

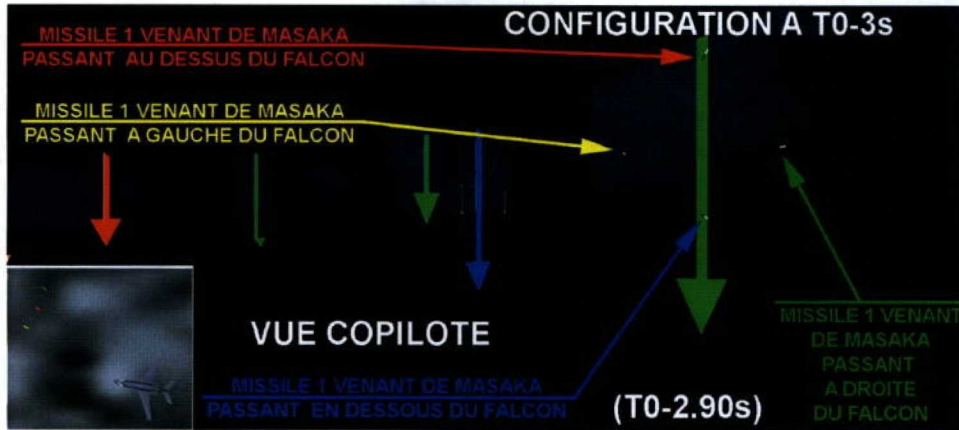
T0 -2.90s



Commentaire :

Le pilote voit le missile passant en dessous de l'avion.





Commentaire :

Le co-pilote voit le missile passant à gauche, à droite, en dessous et au-dessus de l'appareil.

T0 -2.85s



Commentaire :

Le pilote voit le missile passant sous l'avion.



Commentaire :

Le co-pilote voit les missiles passant à gauche, à droite, en dessous et au-dessus de l'avion.

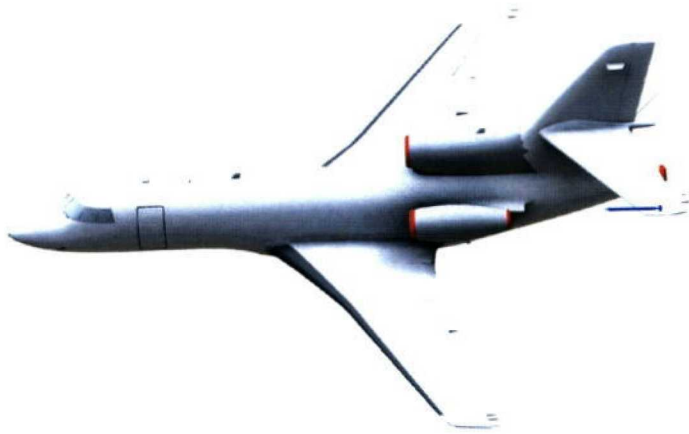
A T -2,85s, l'équipage peut apercevoir tout missile tiré de MASAKA, qu'il passe par la droite, la gauche, le dessous ou le dessus de l'appareil. A partir de cet instant, l'équipage pouvait donc engager une manœuvre d'évitement en sachant qu'à T0 -2,95s l'éventualité d'un missile passant à gauche et au-dessous de l'avion est visible par le co-pilote.

La démarche conduite est identique à celle qui avait été retenue lors de notre premier rapport, à savoir notamment que la trajectographie du missile a été calculée en considérant en fin de parcours un point d'impact à 3 mètres environ à l'avant des réacteurs, soit 7 à 8 mètres devant la source chaude émise par ces derniers.

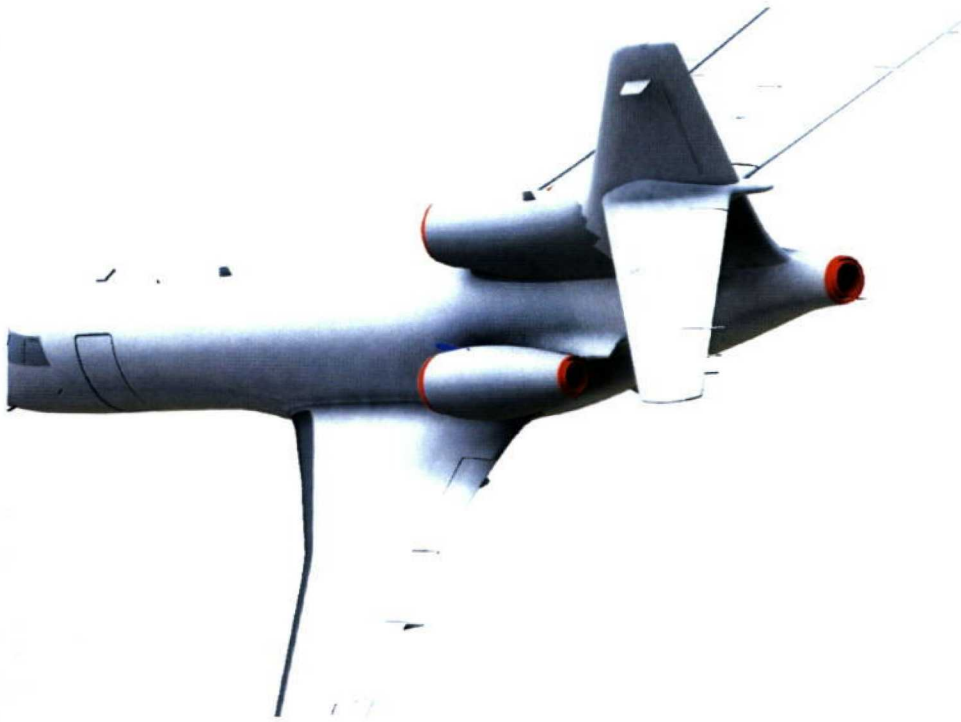
Voici ce qui résulte de cette modélisation, illustré par quatre planches, jointes en annexe, suivant les deux hypothèses d'inclinaison de l'avion :

Inclinaison de l'avion de 45°





D8447/72
72



Inclinaison de l'avion de 60°



D8447/73
73



*Destruction en vol du Falcon 50 – KIGALI (RWANDA)- Complément de mission « Manœuvre d'évitement »
Instruction n° 2272/00/13&1341 – Parquet n° 9729523030*



Commentaire :

Pour ces deux cas, on s'aperçoit que le plan de l'aile à proximité du fuselage, qu'il soit incliné ou pas, est en dessous de la source chaude. L'écart relatif entre la source chaude et le plan de l'aile n'est pas modifié par l'inclinaison de l'avion.

Le missile vient impacter l'avion par le $\frac{3}{4}$ arrière, le réacteur gauche du fuselage se trouvant plus haut que le plan de l'aile gauche.

Ce point d'impact est comparable à ce que nous avons établi dans notre premier rapport alors que l'avion est horizontal en approche de piste.

En réponse à ce point de mission, un missile tiré, soit de la Ferme de MASAKA, soit depuis la position dite Le Pylône, ne peut pas atteindre le dessous de l'aile gauche de l'avion, que ce dernier soit incliné de 45° ou de 60° lors de sa manœuvre d'évitement sur la gauche de son approche de piste. Pour que cette atteinte puisse avoir lieu, il eût fallu que l'avion prenne une inclinaison et un changement de cap incompatibles avec le fonctionnement des commandes de vol et la simple mécanique du vol, nous avons donc décidé de ne pas modéliser une situation techniquement impossible.

4. MISE A DISPOSITION D'UN DVD

Ce DVD comporte plusieurs répertoires :

1. Rapport

Comprenant le rapport relatif à l'évitement au format pdf.

2. Truview

Il s'agit d'un logiciel exécutable qui permet de visualiser tout ce qui a été vu par le Scanner 3D lors de la prise de mesures du Falcon dans les Ateliers Marcel DASSAULT à Mérignac.

Il est préférable de stocker tout ce répertoire sur le disque dur avant de lancer l'exécutable : truview.htm.

A l'aide des onglets distances et dénivelées, il est possible de mesurer toutes les distances et dénivelées réelles aussi bien à l'intérieur de l'avion qu'à l'extérieur.

Les données issues de cette prise de mesures ont été modélisées afin d'être intégrées dans la présentation dynamique NOVA.

3. Nova

Deux fichiers exécutables sont mis à disposition :

- l'un avec un décalage de 2s entre les deux tirs : fichier *1ermisileT0-2.exe*,
- l'autre avec un décalage de 3s entre les deux tirs : fichier *1ermisileT0-3.exe*.

Avant toute utilisation, le fichier stocké sur DVD devra être transféré sur le disque dur d'un ordinateur PC fonctionnant 64 bits disposant d'une bonne carte graphique (avec une bibliothèque direct X10).

A partir de la modélisation effectuée sous 3DS max, il a été complété le fichier exécutable par des onglets supplémentaires et par la modélisation (pour le 1^{er} tir de missile) de :

- 4 trajectoires possibles du 1er missile venant de **Kanombé bas du cimetière.**
- 4 trajectoires possibles du 1er missile venant de **Masaka le Pylône.**

Des onglets supplémentaires ont été créés :

- **onglet Pilote** permettant de visualiser la scène à la position du pilote (œil à 1.10 m du plancher de l'avion),
- **onglet Co-pilote** permettant de visualiser la scène à la position du co-pilote (œil à 1.10 m du plancher de l'avion),
- **onglet KANOMBE**, à l'initialisation du programme et par défaut, le missile situé sur les 4 trajectoires supposées venant de MASAKA apparaîtra. En cliquant sur l'onglet KANOMBE les 4 trajectoires du missile venant de KANOMBE apparaîtront.

4. Films

Deux films ont été réalisés portant le nom : **evitement45.avi et evitement60.avi.**

Ils présentent le déplacement de l'avion avec une manœuvre d'évitement avec une inclinaison à gauche de 45 ° et de 60° avant d'apercevoir le deuxième missile venant de MASAKA le Pylône et impactant l'avion pour qu'il chute dans l'axe du crash.

Pour pouvoir analyser la position du deuxième missile venant de MASAKA le Pylône par rapport à l'avion incliné, le déplacement dans le film est cent fois moins rapide que la réalité. Le missile se dirige vers le point chaud comme défini dans le précédent rapport.

Il est à noter que dans le cas présent, l'impact du 2^{ème} missile intervient 0.43 s après T0 dans le cas d'une manœuvre d'évitement à 60 ° et 0.73 s après T0 dans le cas d'une manœuvre d'évitement à 45 °.

5. SYNTHÈSE GÉNÉRALE

Pour répondre à la mission, nos investigations ont été conduites avec pour objectif d'établir :

- à quel moment l'équipage du Falcon 50 pouvait apercevoir le départ des tirs et la trajectoire du premier missile,
- en fonction de la découverte de cette première menace, quelle (s) éventuelle (s) manœuvre (s) d'évitement a (ont) pu être engagée (s) et à quel moment, en tenant compte des réflexes professionnels des pilotes confrontés à une telle situation,
- quelle a été l'ampleur de cette (ou ces) manœuvre (s) d'évitement et son (leur) influence sur la trajectoire de l'avion avant et après l'impact du second missile,
- si ces éventuelles manœuvres d'évitement ont pu favoriser l'impact du deuxième missile tiré du secteur de la ferme de MASAKA, sur l'aile gauche de l'avion,
- réaliser une modélisation tridimensionnelle de ces hypothèses de manœuvres d'évitement et de la balistique du missile tiré du secteur de la Ferme de MASAKA.

Cette expertise s'appuie sur :

- les données techniques déterminées dans le premier rapport, dont notamment le lieu du crash et la trajectoire de chute de l'avion, la dispersion des débris, ainsi que les coordonnées de l'impact du missile sur l'avion en approche de piste,
- les informations connues, s'agissant du tir de deux missiles, qui selon les témoins étaient espacés de 2 ou 3 secondes. Le premier missile n'a pas touché l'avion.

Notre rapport a été élaboré en tenant compte d'un référentiel chronologique, dont le T0 correspond au moment où le second missile a impacté l'avion. Nous avons retenu 2s et 3s comme intervalle de temps entre le tir des deux missiles.

- **T0 -7 à 8s** environ, l'avion est en approche de piste, c'est le départ du premier missile d'une position du secteur de MASAKA : Le Pylône – position 3 ou La Ferme position 4. Ces positions se situent sur le $\frac{3}{4}$ arrière de l'avion et de ce fait ne sont pas visibles par l'équipage.

- **T0 -6s** environ, l'avion est en approche de piste, c'est le départ du premier missile du secteur de KANOMBE : bas du cimetière – position 6, ou intersection des chemins position 1, ou cimetière position 2. Ces trois positions sont visibles uniquement par le pilote. Si la lueur produite par le départ du missile avait été aperçue par le pilote, celui-ci aurait rapidement engagé une manœuvre d'évitement à l'opposé de la menace, c'est-à-dire sur la droite.

Hypothèse d'intervalle de temps entre les deux tirs

- **T0 -3s**, l'avion est en approche de piste, le premier missile tiré est à hauteur de l'avion.
 - ▶ Pour un tir venant de KANOMBE, l'équipage peut voir le missile à la condition qu'il passe devant l'avion. Le missile passe à très grande vitesse de gauche à droite et il peut être facilement aperçu par la traînée lumineuse du propulseur en phase de poussée de croisière. Si, à ce moment-là le pilote avait aperçu le missile, il aurait engagé rapidement une manœuvre d'évitement vers la droite, à l'opposé de la menace.
 - ▶ Pour un tir venant de MASAKA, l'équipage pouvait apercevoir le missile à T0 - 2,90s, qu'il passe à droite, à gauche, en dessous ou au-dessus de l'avion. Le missile passe de gauche à droite avec un angle de 30° environ par rapport au déplacement de l'avion. Si le pilote et le co-pilote avaient aperçu le missile, ils auraient engagé une manœuvre d'évitement sur la droite, à l'opposé de la menace.

Hypothèse d'intervalle de temps entre les deux tirs

- **T0 -2s**, l'avion est en approche de piste, le premier missile tiré est à hauteur de l'avion.
 - ▶ Pour un tir venant de KANOMBE, l'équipage ne peut voir le missile qu'à la condition qu'il passe devant l'avion.

Comme pour l'hypothèse T0 -3s, le missile peut être facilement aperçu par la traînée lumineuse du propulseur en phase de croisière, se déplaçant à grande vitesse de la gauche vers la droite. Si, à ce moment-là, le pilote avait aperçu le missile, il aurait engagé une manœuvre d'évitement vers la droite, à l'opposé de la menace.

- Pour un tir venant du secteur de MASAKA, l'équipage pouvait apercevoir le missile à T0 -1,95s qu'il passe à droite, à gauche, en dessous ou au-dessus de l'avion. Le missile passe de gauche à droite avec un angle de 30° par rapport au déplacement de l'avion. Si le pilote et le co-pilote avaient aperçu le missile, ils auraient engagé une manœuvre d'évitement vers la droite, à l'opposé de la menace.

En considérant que l'équipage ait amorcé une manœuvre d'évitement sur la gauche, même si cette opération ne correspond pas aux réflexes professionnels de cet équipage, nous avons établi que le crash de l'avion se serait produit très loin de la réalité survenue. En conséquence, **aucune manœuvre d'évitement** n'a été engagée au moment où le premier missile est passé à proximité de l'avion.

Nous pouvons également déduire de nos travaux que :

- le premier missile tiré du secteur de KANOMBE n'a pas été aperçu, que ce soit au départ du coup ou sur trajectoire. Il n'est donc pas passé devant le cockpit. Par contre, il a pu passer par la droite, le dessous ou le dessus de l'appareil, zones dans lesquelles il n'était pas visible,
- le premier missile tiré du secteur de MASAKA, qu'il passe de n'importe quel côté de l'avion, ne pouvait pas passer inaperçu par le pilote et le co-pilote. Si cet équipage avait décelé cette menace, il aurait aussitôt engagé une manœuvre d'évitement. Les simulations réalisées l'attestent. Il est donc cohérent de considérer que ce missile n'a pas été tiré du secteur de MASAKA, tout comme le second, destructeur de l'avion.

Deux autres éventuelles manœuvres d'évitement permettant d'obtenir des trajectoires de chute de l'avion compatibles de la réalité des faits, ont été également écartées pour les raisons suivantes :

- l'impact du deuxième missile sur l'avion ne correspond pas à ce que nous avons établi dans notre premier rapport,
- l'engagement de ces deux cas de manœuvre d'évitement aurait été réalisé bien après que le premier missile ait pu être aperçu, que ce soit pour l'intervalle de temps de 2s (T0 -2s) ou celui de 3s (T0 -3s),
- ces délais de réaction ne correspondent pas aux réflexes professionnels des pilotes qui étaient aux commandes de cet appareil, en rappelant que ces derniers avaient eu une formation militaire,
- ces manœuvres d'évitement sont à gauche de l'approche de piste, c'est-à-dire en direction de la menace et non à l'opposé.

Il convient d'indiquer que l'initiation d'une manœuvre d'évitement est systématiquement accompagnée d'une extinction des lumières extérieures de l'avion et du débrayage du pilote automatique, toujours à des fins de recherche de la furtivité et de la manoeuvrabilité, cette extinction des feux a d'ailleurs été constatée par plusieurs témoins. Mais l'extinction des feux n'implique pas systématiquement qu'il y ait eu manœuvre d'évitement, la proximité du sol et de la piste ayant pu conduire l'équipage à ne pas effectuer celle-ci et se contenter d'éteindre les feux.

Pour les deux éventuelles manœuvres d'évitement précitées induisant des trajectoires de chute de l'avion compatibles de la réalité des faits, un missile tiré du secteur de la Ferme de MASAKA ne peut pas atteindre le dessous de l'aile gauche de l'avion, que ce dernier soit incliné (sur la gauche) de 45° ou de 60°. Il vient impacter l'avion par le ¾ arrière, le réacteur gauche du fuselage se trouvant plus haut que le plan de l'aile gauche.

Ce point d'impact est comparable à ce que nous avons établi dans notre premier rapport, alors que l'avion est horizontal en approche de piste.

6. CONCLUSION

Après avoir pris connaissance de l'ordonnance du 12 novembre 2012 et à l'issue de nos relevés, études et investigations, nous pouvons répondre aux points de la mission qui suivent :

- *« Déterminer, en considération des données techniques connues (dispersion des débris, trajectoire, vitesse, caractéristiques et poids de l'avion), de la visibilité que pouvait avoir l'équipage du départ des tirs et de la trajectoire des missiles, ainsi que des réflexes professionnels envisageables de la part d'un pilote dans une telle situation :*
 - *si une ou des manœuvres d'évitement de l'un ou des deux missiles ont eu lieu,*
 - *dans l'affirmative, quelles ont été l'ampleur et la nature de cette ou de ces manœuvres d'évitement,*
 - *dans l'affirmative, quelles ont été les conséquences de cette ou de ces manœuvres d'évitement sur la trajectoire de l'avion. »*

Les pilotes du Falcon 50 de la présidence du Rwanda étaient des pilotes militaires français. Même s'ils se trouvaient aux commandes d'un avion civil, à fortiori d'un aéronef d'état « sensible », les réflexes professionnels acquis sont présents.

Le temps de réaction d'un pilote expérimenté, dès la perception d'une menace et de la conscience du risque élevé dans le contexte présent, est de l'ordre de la seconde, parfois inférieur, en fonction du niveau de vigilance, d'attente de la menace. En outre, cette réaction est de quitter la trajectoire par une manœuvre d'évitement à l'opposé de la menace.

Des simulations ont été réalisées, basées sur des calculs de virage et de trajectoire pour évaluer l'influence des manœuvres d'évitement engagées rapidement par l'équipage après avoir détecté visuellement une menace dans les cas de figure suivants :

- lors de la découverte du tir du premier missile effectué depuis le secteur de Kanombé dont les trois positions envisagées dans notre premier rapport étaient visibles par le pilote, en rappelant qu'un tir du secteur dit de Masaka, étant sur le $\frac{3}{4}$ arrière de l'avion, ne pouvait pas être aperçu par l'équipage,

- au moment du passage du premier missile à proximité de l'avion, 2s ou 3s avant l'impact du second missile, intervalles de temps des deux tirs indiqués par les témoins, que nous avons retenus pour mener nos travaux d'expertise, qu'il soit tiré de Kanombé ou de Masaka.

Nous avons conclu que, pour ces configurations, **aucune manœuvre d'évitement franche** n'a été engagée par cet équipage, que ce soit à gauche ou à droite de l'approche de piste dans la mesure où les trajectoires de chute conduisent à des crashes très éloignés avec celui réellement survenu.

Les différentes hypothèses de manœuvre d'évitement sont ainsi résumées :

- une manœuvre vers la droite est incompatible avec le lieu de dispersion des débris,
- une manœuvre d'évitement franche vers la gauche n'est pas compatible avec un point d'impact sous l'aile gauche de l'avion comme cela ressort très clairement de la modélisation,
- une éventuelle possibilité d'amorce de manœuvre d'évitement dont l'inclinaison serait infime pourrait être envisagée dans le cas d'un tir venant du secteur de Kanombé et incompatible avec l'impact d'un tir venant du secteur de Masaka.

Il convient d'indiquer que l'initiation d'une manœuvre d'évitement est systématiquement accompagnée d'une extinction des lumières extérieures de l'avion et du débrayage du pilote automatique, toujours à des fins de recherche de la furtivité et de la manoeuvrabilité, cette extinction des feux a d'ailleurs été constatée par plusieurs témoins. Mais l'extinction des feux n'implique pas systématiquement qu'il y ait eu manœuvre d'évitement, la proximité du sol et de la piste ayant pu conduire l'équipage à ne pas effectuer celle-ci et se contenter d'éteindre les feux.

« Déterminer si cette ou ces éventuelles manœuvres d'évitement auraient pu permettre à un missile venant du secteur de la Ferme MASAKA et, en tout cas, arrivant par l'arrière de l'avion, d'en impacter l'aile gauche ».

Pour les éventuelles manœuvres d'évitement étudiées induisant des trajectoires de chute de l'avion compatibles de la réalité des faits, un missile tiré du secteur de la Ferme de MASAKA ne peut pas atteindre le dessous de l'aile gauche de l'avion, que ce dernier soit incliné (sur la gauche) de 45° ou de 60°.

Il vient impacter l'avion par le $\frac{3}{4}$ arrière, le réacteur gauche du fuselage se trouvant plus haut que le plan de l'aile gauche.

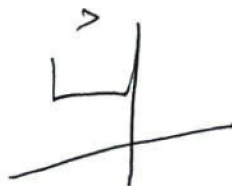
Ce point d'impact est comparable à ce que nous avons établi dans notre premier rapport, alors que l'avion est horizontal en approche de piste.

« Effectuer une modélisation par ordinateur des manœuvres d'évitement qui auraient pu permettre qu'un tir venant de l'arrière de l'appareil et en particulier des environs de la Ferme de MASAKA impacte le dessous de l'aile gauche et matérialiser la dispersion des débris de l'appareil au sol pour déterminer visuellement si cette dispersion est compatible avec celle réellement survenue ».

Une modélisation tridimensionnelle des scénarios des manœuvres d'évitement a été réalisée, faisant l'objet d'un DVD joint au rapport. Nous avons modélisé uniquement les manœuvres d'évitement opérationnellement faisables et compatibles avec la mécanique du vol et une présentation de l'aile gauche.

Les experts soussignés ont remis en conséquence un rapport d'expertise en deux exemplaires et attestent qu'ils ont personnellement accompli la mission qui leur a été confiée.

D. VAN SCHENDEL



C. OOSTERLINCK



J. SOMPAYRAC



O. CHAVANIS



J. HUON



D844t/84

