



Jean-Pascal SERRE

Ingénieur Européen (N° d'Enregistrement : 24157)
Ingénieur du Conservatoire National des Arts & Métiers
Ingénieur IPF en Acoustique (N° d'Enregistrement : 24935)
Evalueur de Diagnostiqueurs IPF (N° d'Enregistrement : 24935)
Expert près la C.A de Rouen & la C.A.A de DOUAI



Diplôme Universitaire d'Expertises Judiciaires de la Fac de Droit de ROUEN (2008)

20, rue André Bourvil - 76520 Les AUTHIEUX Pt St Ouen

Tél. : 06.81.30.49.24

E-Mail : cab_expert_jpserre@hotmail.fr

Fax. : 02.35.61.95.04

N° Siret : 394 746 531 00018 --- Code APE : 742 C

Les AUTHIEUX, le 04/01/2012

RAPPORT COMPLEMENTAIRE en ACOUSTIQUE

COUR d'APPEL de PARIS

D 8053

TRIBUNAL de GRANDE INSTANCE de PARIS

(31p)

N° de Parquet : .9729523030

N° d'Instruction : .2272/00/13 & 1341

Procédure Criminelle

Expertise ordonnée par:

*- **M. Marc TREVIDIC & Mme Nathalie POUX** : vice-présidents chargés de l'instruction au Tribunal de Grande Instance de PARIS.

Vu l'information suivie contre:

*- **Mr KARABERE James** : ayant pour Avocat : Me Léon-Lef FORSTER.

*- **Mr NZIZA Jack** : ayant pour Avocat : Me Léon-Lef FORSTER.

*- **Mme KANYANGE Rose ép. KABUYE** : ayant pour Avocat : Me Léon-Lef FORSTER & Me bernard MAINGAIN.

*- **Mr KANYEMERA Sam Kaka** : ayant pour Avocat : Me Léon-Lef FORSTER.

*- **Mr KARABERE James** : ayant pour Avocat : Me Léon-Lef FORSTER.

*- **Mr NZIZA Franck** : ayant pour Avocat : Me Léon-Lef FORSTER.

*- **Mr KAYONGA Charles** : ayant pour Avocat : Me Léon-Lef FORSTER.

*- **Mr TUMWINE Jacob** : ayant pour Avocat : Me Léon-Lef FORSTER.

D8053/2

Rappel sur la Mission de l'expert

L'Expert rappelle le cadre de sa mission, définie dans l'ordonnance de commission d'expert du 29/03/2011 et dans l'ordonnance complémentaire de commission d'expert du 22/12/2011, conformément aux dispositions de l'article 162 du Code Procédure Pénale :

① Mission Principale :

*- Prendre attache avec les experts commis par ordonnance ci-jointe du 21 Avril 2010 et participer à toutes réunions utiles afin de prendre pleinement connaissance des aspects techniques des questions pour lesquelles les experts ont demandé son adjonction ;

*- Récupérer auprès d'eux toutes les données techniques utiles (nombre de décibels produits par le départ des divers missiles susceptibles d'avoir été utilisés, particularités topographiques etc....)

*- Prendre connaissance en particulier des cotes ci-jointes D353 à D358 (Audition du Lieutenant- Colonel Grégoire de Saint-Quentin), D2569 et D2570 (Audition de Daniel Daubresse), D2577 à D2579 (Audition de Massimo Pasuch), D2595 à D2597 (Plan établi par la Gendarmerie Belge permettant de localiser notamment la maison de Mr Pasuch – matérialisée par le chiffre « 2 » sur la carte), D7267 (idem en A3), D2715 et D2716 (Audition de Philippe Leiding), D2866 (Journal de l'armée belge localisant la résidence du Docteur Pasuch à 200m à l'est de l'hôpital militaire de KANOMBE), D7280 (Audition de Joséphine Mukazitoni), D7968 (Audition du Dr Daniel DAUBRESSE), D7983 (Audition du Dr Massimo PASUCH), D7987 (Audition de Mme Brigitte PASUCH née DELNEUVILLE), D7988 (Audition de Mme Denise VAN DENNEN), D7990 (Audition de Mr Jean COLLIGE), D7280 (Audition de Mr Philippe LEIDING), D7998 (Audition du Général Grégoire De St QUENTIN);

*- Nous préciser dès que possible les questions qu'il serait utile de poser aux témoins déjà entendus mentionnés ci-dessus ou à ceux dont il est fait référence dans leur audition et qui aurait également pu entendre le départ des tirs ;

*- Dès que la planche photographique réalisée au RWANDA aura été établie, en prendre connaissance ;

*- Donner toutes indications techniques utiles sur la façon dont un bruit de tir est susceptible de se propager dans les circonstances de l'espèce (tirs partant du sol vers le ciel, vitesse de propagation, distance maximale de propagation, délai pour un témoin entre la perception du bruit et celle de la lumière) ;

*- Tenter pour chacun des témoins, de déterminer à quelle distance approximative (l'utilisation d'une fourchette est envisageable), il se trouvait pour pouvoir entendre le départ des tirs et, pour certains d'entre eux, entendre puis voir ensuite des traînées lumineuses dans le ciel pouvant correspondre à la trajectoire des projectiles ;

*- Donner toutes autres précisions techniques utiles en rapport avec la mission et les questions soulevées par les premiers experts commis ;

② Mission Complémentaire :

*- préparer la présentation orale de leurs travaux d'expertise pour exposer ceux-ci lors de l'acte d'instruction du 10 janvier 2012 à 14heures.

*- Prévoir un Power point et tout autre mode de présentation des travaux d'expertise susceptibles d'éclairer les parties sur les conclusions des experts.

*- Nous assister lors de l'acte d'instruction du 10 janvier 2012 à 14 heures au Tribunal de grande instance de Paris.

*- Actualiser le devis initial pour tenir compte de cette mission complémentaire.

-Sommaire-

D2053 / 3

	Page
RAPPEL sur la MISSION de l'EXPERT	1
I ORGANISATION & DEROULEMENT de la MISSION	3-4
II EXPLOITATION des PIECES mise à ma disposition	4
III METHODE PREDICTIVE de DETERMINATION des Lw_c (Détermination des « Lw_c » : Puissance sonore calculée des propulseurs de roquettes)	4-8
IV MESURES des PUISSANCES SONORES : Lw_m (Mesures des « Lw_m » Puissance sonore mesurée produit par un pannel de propulseurs)	8-15
V ANALYSE & CORRELATION des Lw_c & Lw_m (Selon Evaluation prédictive par les Coefficients de Similitudes)	15-16
VI RECHERCHES des différents NIVEAUX de PRESSION ACOUSTIQUE (Fonctions des positions présumées des départs de Tir / Observateurs points A & B)	17-18
VII ABSORPTION ACOUSTIQUE en FONCTION du PROFIL	18
VIII CALCUL des différentes DUREES de PROPAGATION du SON	18-23
IX CROISEMENT des DUREES de PROPAGATION du SON & DUREE de PARCOURS des MISSILES	23-24
X TABLEAU des POSSIBILITES de TIR	24
XI REPONSES à la MISSION confiée	25-33
XII CONCLUSIONS	33-34

D8053/4

ORGANISATION & DEROULEMENT de la MISSION

a) Organisation expertale :

Une ordonnance de commission d'experts en date du 21/04/2010 a mandaté un collège d'experts :

- *- Expert en aviation civile : **Claudine OOSTERLINCK**
- *- Expert en Armes, Munitions et Balistique : **Jean HUON**
- *- Expert en armement Aérien & Pyrotechnie : **Olivier CHAVANIS**
- *- Expert explosions, explosifs et incendies : **Daniel VAN SCHENDEL**
- *- Expert géomètre : **Jean SOMPAYRAC**

b) Nécessité d'une expertise acoustique :

Le collège d'expert a estimé, que le concours d'un spécialiste acousticien s'imposait afin de donner un avis sur les pressions sonores ressenties, dans le but de discriminer, les différentes positions possibles de tirs de roquettes. C'est dans ce contexte, que les magistrats instructeurs, m'ont désigné.

c) Méthodologie de la Mission :

Compte tenu du manque d'information entourant la conception et la fabrication du missile **SA16**, je propose de déterminer par « **similitude** » la puissance sonore de l'engin par rapport à un propulseur de roquette suffisamment équivalent en matière de moteur de poussée et de dimensions de tuyère.

Cette méthode a pour avantage certain de comparer l'architecture dimensionnelle de la tuyère d'éjection des gaz, d'en déterminer les coefficients de similitude théorique, aussi bien de nature aérodynamique que de nature acoustique, puis de transposer par une matrice transfert, en appliquant la valeur mesurée sur l'engin d'origine française. (cf. Annexe B)

Dans ce contexte, la méthode consistera à :

1°) mesurer sur banc extérieur, à l'aide de 6 à 8 sonomètres intégrateurs de Classe 1 (classe expert), le niveau de bruit engendré par l'allumage successif des 2 premiers étages du moteur de poussée de différents propulseurs.

2°) D'analyser et de calculer avec précision, la puissance théorique émise par les propulseurs, selon les paramètres dimensionnels de leurs tuyères d'éjection des gaz.

3°) Appliquer les calculs précédents au propulseur du SA16, afin de quantifier avec les paramètres dimensionnels de sa tuyère d'éjection des gaz, son niveau de puissance sonore.

4°) Enfin effectuer une corrélation par similitude dimensionnelle des niveaux théoriques et réels entre divers propulseurs de roquettes de taille similaire vis à vis du SA16 d'origine soviétique.

5°) Puis à partir du niveau déterminé de la puissance acoustique, calculer la décroissance spatiale lors des 2 premières phases (démarrage, accélération) du missile, afin de quantifier le niveau de pression sonore perçu par les observateurs au sol.

6°) Enfin croiser les valeurs de durée de propagation du son avec la durée mise par l'engin sur sa trajectoire pour atteindre sa cible suivant l'alternative suivante :

- *- Entre les 4 positions de départs de tirs et l'observateur positionné au point A (Lt Col Grégoire de Saint-Quentin)
- *- Entre les 6 positions de départs de tirs et les observateurs positionnés au point B (Dr PASUCH – Mme VAN DEENEN – Dr DAUBRESSE)

II EXPLOITATION des PIÈCES mises à ma DISPOSITION

- *- Plans de Simulations Positions Roquettes : références Pièces : 7 – 7A – 12
- *- Plans représentant la visée du lance roquette selon les positions possibles.
- *- Plans de Simulations 4 Positions Roquettes : références Pièces : 14
- *- Différents Profils en long KANOMBE – LA FERME des 4 positions Roquettes

- *- Audition du St QUENTIN :
- *- Audition de Mme VAN DEENEN :
- *- Audition du Dr DAUBRESSE :
- *- Audition du Dr PASUCH :

III METHODE PREDICTIVE de DETERMINATION des L_{w_c}

(Détermination des « L_{w_c} » : Puissance sonore calculée des propulseurs de roquettes)

Un petit rappel sur les fondamentaux

III – 0 Les fondamentaux :

- *- *L'acoustique.*
- *- *Le bruit.*
- *- *La propagation spatiale du bruit en champs libre*

III-1 L'acoustique

Étymologie

Créé par le physicien Joseph Sauveur (1653-1716) à partir de la Grèce antique

Issue du grec ancien, signifie « *pouvoir de se faire entendre* »

D2053 / 6

Définition

1. partie des sciences physiques qui étudie les sons, les ondes sonores.
2. Partie de la physique qui traite des sons (production, propagation et réception).

III-2 Le Bruit

Étymologie

Le mot bruit vient du verbe bruire qui signifie « **faire entendre un son, un murmure confus** ».

Bruire vient du latin « **brugitum** », participe passé du latin populaire « **brugere** » qui a pour traduction « il brame ». Dans ce cas, le verbe bramer est le cri du cerf, du chevreuil ou du daim. « **Brugere** » est l'association du latin classique « rugire » (rugir) et « **bragere** » (braire). Au XII^e siècle, le bruit signifie « renommée » ou « éclat » au sens figuré et « son de voix » au sens propre.

Tableau corrélés par l'exemple des niveaux de puissance acoustique

Puissance (W)	Niveau dB SPL	Exemple :	Puissance réelle (W)
100 000 000	200	Fusée Saturne V	50 000 000
1 000 000	180	Gros porteur quadriréacteurs	50 000
10 000	160		
100	140	Grand orchestre	10
1	120	Marteau piqueur	1
0.01	100	Cri	0.001
0.000 1	80		
0.000 001	60	Conversation	20x10 ⁻⁶
0.000 000 01	40	Local sans bruit (salle d'attente)	
0.000 000 000 1	20	Chuchotement	10 ⁻⁹
0.000 000 000 001	0	<u>Silence</u> (théorique)	
Puissances acoustiques de sources courantes de bruit			

Tableau 1

NOTA : Dans le cadre de l'expertise, le niveau de puissance sonore d'une roquette est comparable au niveau de puissance sonore d'un gros porteur quadriréacteur.

Une autre liste de niveau de décibels SPL par situation :

0 dB SPL	seuil d'audition
15 dB SPL	niveau de bruit d'un bruissement de feuilles
30 dB SPL	niveau de bruit de chuchotements
40 dB SPL	niveau de bruit d'une salle d'attente
60 dB SPL	niveau de bruit d'un ordinateur personnel de bureau à 0,6 mètres
65 dB SPL	niveau de bruit d'une voiture roulant à 60 km/h à 20 mètres
85 dB SPL	Niveau de bruit d'un camion roulant à 50 km/h à 20 mètres.
92 dB SPL	niveau de bruit d'une tondeuse à gazon à moteur thermique à 1 mètre
95 dB SPL	niveau de bruit d'une rotative à journaux
103 dB SPL	niveau de bruit d'un métier à tisser
115 dB SPL	niveau de bruit d'un marteau pneumatique à 1 mètre
120 dB SPL	seuil moyen d'apparition de la douleur due au son
125 dB SPL	niveau de bruit d'un avion à réaction au décollage à 20 mètres

Tableau 2

85 dB SPL : Seuil à partir duquel il existe un risque pour l'acuité auditive selon la durée d'exposition sans protections adaptées.

Définition & Comparaison

Le son est la sensation auditive due à une vibration acoustique. On distingue deux faces appropriées au son, premièrement, la face physique c'est-à-dire l'ébranlement, la perturbation dans un milieu matériel élastique, deuxièmement, la face perceptive c'est-à-dire le signal perçu par l'ouïe. Le son est donc un transfert d'énergie dans un milieu élastique qu'on peut résumer en un mot : l'onde.

Le bruit est différencié du son généralement par une sensation désagréable à l'oreille. Il peut aussi se définir comme un signal acoustique, électrique ou électronique constitué d'un mélange incohérent de longueurs d'onde. Il est plus précisément composé de partiels très nombreux qui peuvent donner un spectre continu. Ce qui fait la différence entre bruit et son, est que la fréquence de vibration du bruit est irrégulière et ne permet donc pas de lui donner une hauteur précise contrairement au son. Le bruit est physiquement caractérisé par son intensité, la présence d'harmoniques non périodiques, de fortes modulations et l'existence de discordances ; c'est pourquoi on le trouve désagréable.

III-3 la propagation spatiale du bruit en champs libre :

Si nous imaginons une source sonore suspendue dans le ciel et émettant une certaine puissance acoustique, que va-t-il se passer au niveau de l'oreille d'un auditeur particulier situé à une distance « r » de cette source ; nous savons que la puissance acoustique génère une pression ; qui dit pression ($P = F / S$) induit qu'il faut une certaine surface pour pouvoir la définir ;

Les ondes sonores se propageant sphériquement, cette surface va en fait être celle de la sphère virtuelle ayant pour centre la source sonore et pour rayon la distance « r » de la source à l'auditeur ;

NOTA : mathématiquement cette surface sphérique vaut $S = 4\pi r^2$. C'est la dérivée première de la formule définissant le volume d'une sphère $V = 4/3\pi.r^3$

METHODE :

① Afin de pouvoir déterminer avec précision la puissance sonore émise par le propulseur de roquette, j'ai été amené à considérer les équations de propulsion spatiale et en particulier, à utiliser la formulation de TSIOLKOWSKI :

$$\Delta V = V_{eject} \cdot \ln \left(\frac{m_i}{m_f} \right) - g \cdot T$$

Dans laquelle :

ΔV : la variation de vitesse de l'engin,

V_{eject} : la vitesse d'éjection des gaz brûlés servant à la propulsion,

m_i et m_f sont les masses initiales et finales de l'engin,

g : l'accélération de la pesanteur,

T : le temps de propulsion

L'intérêt de cette formulation réside dans le fait que tous les paramètres étaient connus à l'exception de la Vitesse d'Ejection.

② Puis d'associer la vitesse d'éjection des gaz brûlés, à la vitesse particulière acoustique.

$$V_{eject} = V_{particul}$$

③ Enfin de remonter à la formulation de la puissance acoustique d'une source sonore quelconque, dont la formule est la suivante :

$$W = S \cdot \frac{(P_{eff})^2}{Z_0} \quad (\text{Cas d'une source sonore émergent d'une surface : } S)$$

En considérant également que :

$$P_{eject} = P_{max}$$

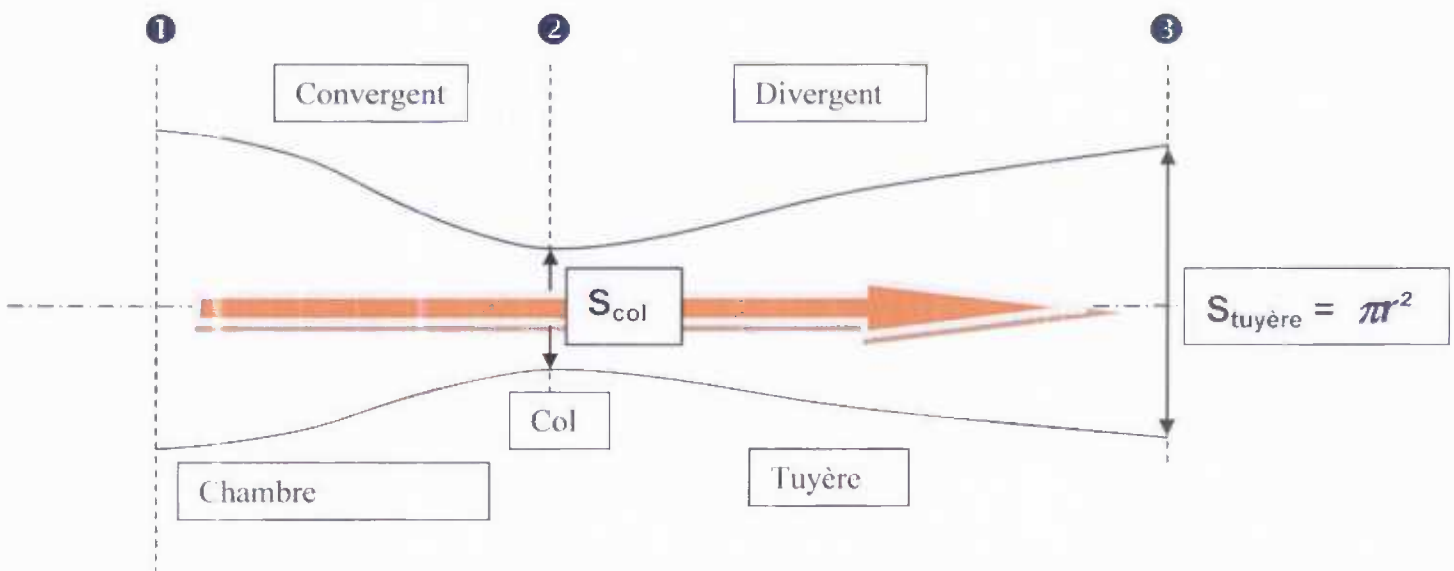
Dans laquelle :

P_{eff} : Pression effective engendrée par la vitesse particulaire.
 Z_0 : Impédance Acoustique à la température standard.
 S : Surface de la source.

Compte tenu que la surface par laquelle émerge le bruit de propulsion est la base de la tuyère d'éjection des gaz brûlés, celle-ci est similaire à un cercle, dont la surface est : πr^2

$$W = \pi r^2 \cdot \frac{(P_{eff})^2}{Z_0}$$

SCHEMA de la TUYERE du PROPULSEUR d'ENGIN



IV MESURES des PUISSANCES SONORES produites par un pannel de propulseurs : Lw_m (Mesures des « Lw_m » produits par un pannel de propulseurs)

NOTA 1 : Afin de valider la méthodologie exposée ci-dessus, nous avons procédé le 06/07/2011 à une série de mesures sur un pas de tir :
 - Pas de tir : TDA - La ferté St AUBIN (45240)
 - Mesures effectuées avec l'aide de Mr Pierre DUCLOS, ingénieur acousticien qui a fourni les moyens de mesures nécessaires (7 sonomètres).

NOTA 2 : En raison de la multiplicité des essais, des positions relatives des sonomètres différentes, ces essais ne pouvaient pas être effectués par une seule personne.

NOTA 3 : Les sources dimensionnelles des propulseurs sont issues du Document d'Olivier CHAVANIS du 10/05/2011 mis en annexe B du présent rapport

IV-1 CONDITIONS des ESSAIS & MISE en OEUVRE

IV – 1.1 Procédure

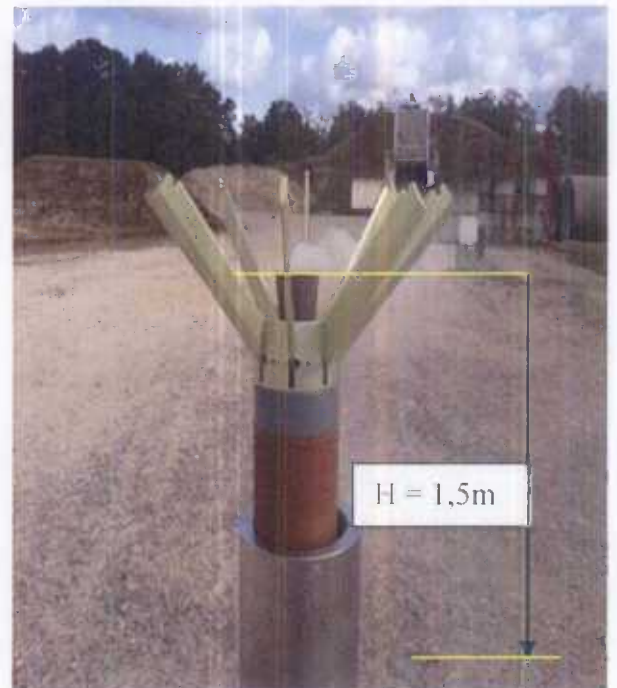
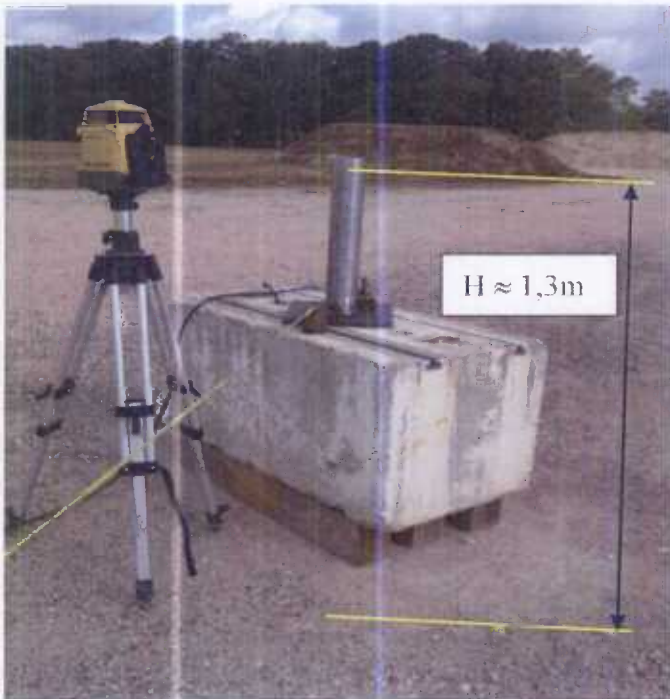
Nos essais ont été réalisés le 06/07/2011 en présence des personnes suivantes :

D7053 / 110

- M POULIN, Chef d'établissement, responsable service essais,
- M COQUAND, Responsable service propulseur,
- M CHAVANIS, Expert en armement Aérien & Pyrotechnie
- Mr DUCLOS, Ingénieur acousticien, collaborateur pour les essais,
- Mr SERRE, Expert en énergétique et acoustique.

15 tirs successifs de propulseurs de roquettes ont été réalisés à l'air libre. Le propulseur étant positionné dans un tube en acier ($D_{int} = 78 \text{ mm}$, $ep = 10 \text{ mm}$, $prof = 600 \text{ mm}$), solidaire lui-même d'un dé en béton. La tuyère du propulseur étant placée à l'extérieur du tube.

- 5 tirs ont été réalisés le matin entre 10h00 et 11h45, l'axe du propulseur étant VERTICAL (tête vers le bas, tuyère à 1,5m du sol).



- 10 tirs ont été réalisés l'après midi entre 13h45 et 15h05, l'axe du propulseur étant HORIZONTAL (tête vers le Nord, axe de la tuyère à 1,2m du sol).



D8053 / u

IV – 1.2 Matériels de Mesures utilisés

Les mesures des niveaux sonores ont été réalisées en simultanéité avec 7 sonomètres intégrateurs de Classe I (précision : 0,5 dBA)

- 4 sonomètres B & K 2236 avec micro 1/2" 4188 et boule antivent.
- 3 sonomètres SIP 95 de 01 dB avec micro 1/2" MK 250 et boule antivent.

Ces sonomètres sont étalonnés sur site avec le calibreur CAL 21 de 01 dB (homologué jusqu'en Juin 2013).

NOTA : Compte tenu d'un bruit important sur une durée très courte ($t < 2\text{sec}$), les niveaux sonores ont été mesurés avec la constante « FAST » (8 à 10 prélèvements / seconde).

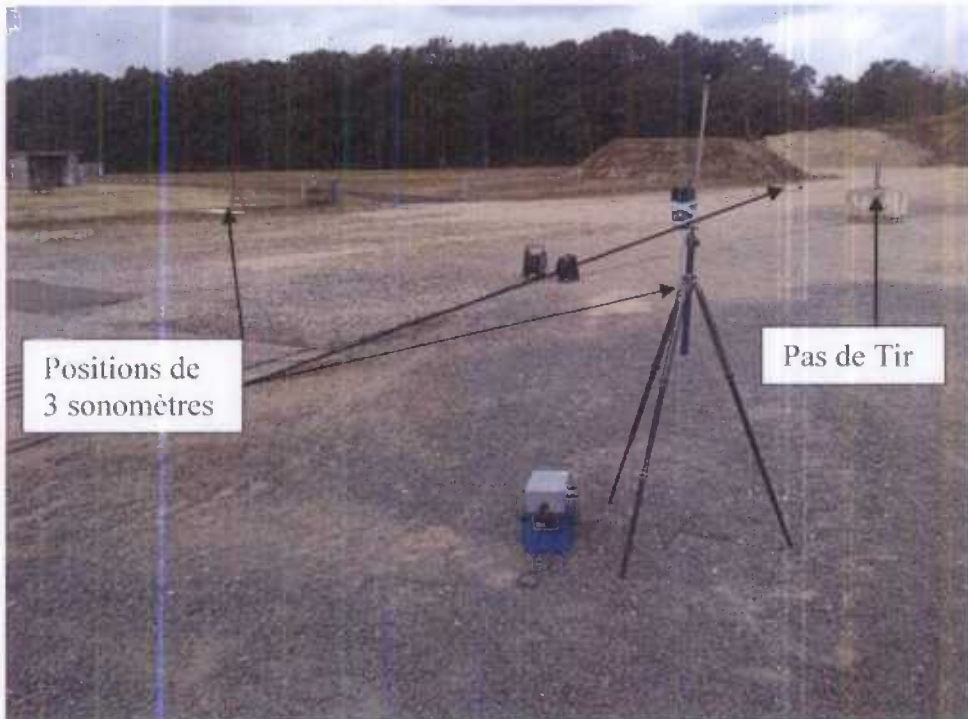


Photo N°4

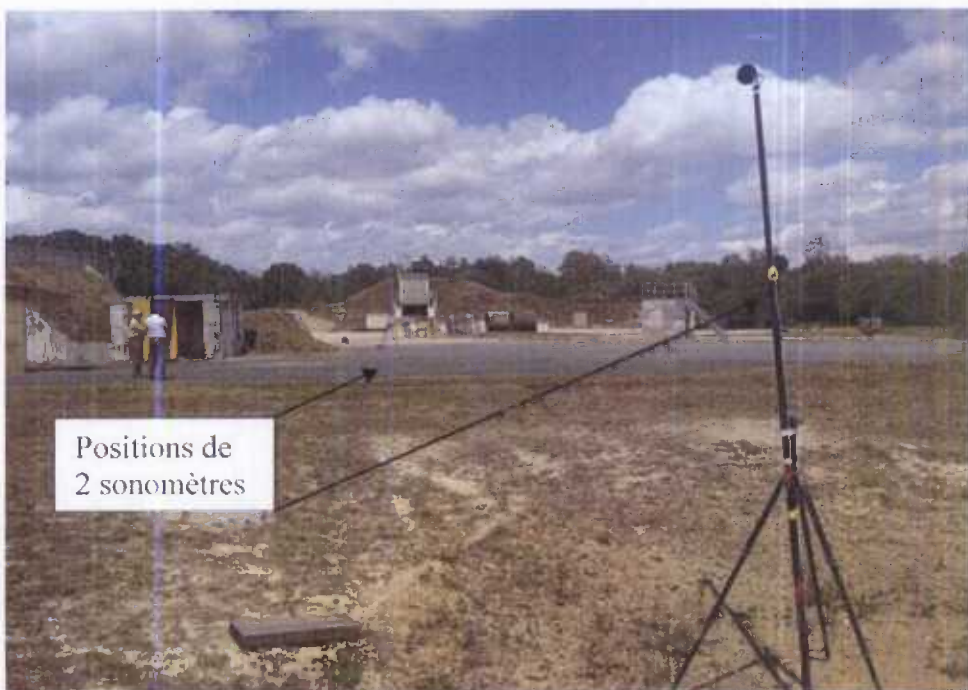


Photo N°5

IV – 1.3 Conditions météorologiques pendant nos essais

D8053 / 12

- Beau temps à couvert,
- Vent de SUD OUEST : 2m/s à 4 m/s,
- Température : 21°C à 25°C.

NOTA : Compte tenu d'une distance maximale de 80 m entre le propulseur et les microphones et en référence à la Norme Française d'Environnement NF S 31010, ces conditions n'ont pas d'incidence sur les résultats des essais.

IV – 1.4 Détermination des Niveaux de Puissance Acoustique (Méthode de Contrôle pour les mesures in situ NF S 31-027)

① Détermination de la puissance acoustique en dBA

L'essai sera réalisé en référence à la norme **NFS 31027** relative à la détermination des niveaux de puissance acoustique émis par les sources de bruit, pour les mesures in situ.

Joint en annexe la position des 4 points clés dans le cas d'une surface de mesure hémisphérique sur plan réfléchissant. Compte tenu d'un bruit intensif de courte durée, nous avons prévu une surface de mesure en $\frac{1}{2}$ sphère de rayon **R = 50m**, les 4 points étant situés à 50m du centre du propulseur et à 1,50m au-dessus du sol (hauteur de la tuyère). Aux 4 points de mesure, les niveaux sonores L_p seront mesurés en simultané à raison de 10 événements par seconde. (Mode : FAST).

Le niveau de puissance acoustique L_w en dBA sera déterminé par la relation : $L_w = L_p \text{ moyen} + 10 \log S$

$L_p \text{ moyen}$ = moyenne logarithmique des 4 niveaux L_p mesurés aux 4 points de mesure

S : surface de la $\frac{1}{2}$ sphère = $2 \pi R^2$; D'où $L_w = L_p \text{ moyen} + 42$

Nota : l'idéal sera un sol réfléchissant type béton ou asphalte sur la zone de mesure, sinon nous tiendrons compte de l'effet de sol.

② Décroissance du bruit par doublement de distance

4 autres points seront mesurés en simultané avec les 4 points précédents, suivant un axe horizontal propulseur/point clé, le choix de la direction dépendant des conditions météorologiques (que nous contrôlerons sur site).

Comme précédemment, la hauteur des micros par rapport au sol sera de **1,50m**. Les distances de ces points par rapport au propulseur seront de **100m, 200m et 400m**.

NOTA 1 : Pour les points situés à 100, 200 et 400m les niveaux sonores seront mesurés en dBA (8 mesures par seconde).

NOTA 2 : Pour le point situé à 400m, les niveaux sonores seront mesurés en dBA et en dB par 1/3 d'octave (1 mesure par seconde).

③ Analyse des résultats

Les fichiers stockés dans chaque sonomètre seront traités ultérieurement avec un logiciel agréé, chaque mesure par point sera présentée sous forme graphique. Un rapport de synthèse regroupera la procédure des essais et nos conclusions sur les résultats obtenus.

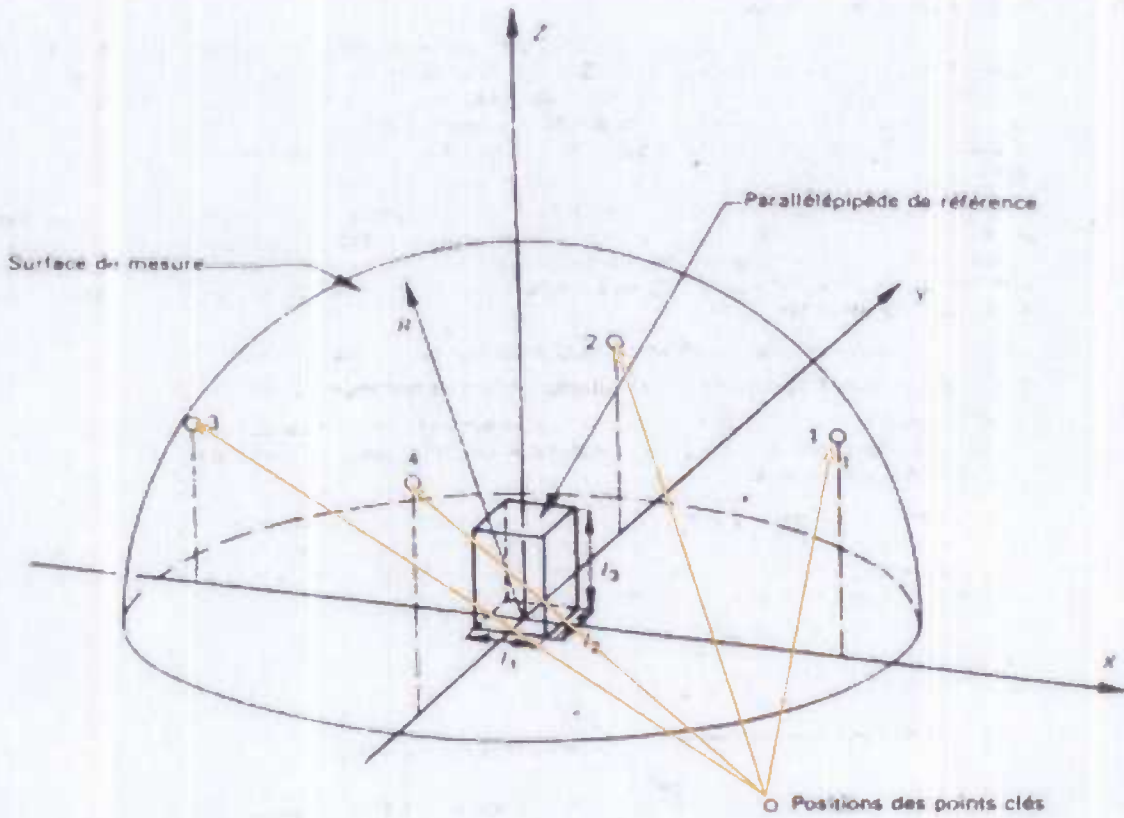


Figure 1 — Positions de microphone sur l'hémisphère — Positions des points clés

TABLEAU 2 — COORDONNÉES (x, y, z) DES POSITIONS DE MICROPHONE

Numéro du point de mesure	Microphone placé à la hauteur $z = 0,58 R$			Microphone placé juste au-dessus du plan réfléchissant		
	$\frac{x}{R}$	$\frac{y}{R}$	$\frac{z}{R}$	$\frac{x}{R}$	$\frac{y}{R}$	$\frac{z}{R}$
1	0,82	0,0	0,58	1,0	0,0	< 0,05
2	0,0	0,82	0,58	0,0	1,0	< 0,05
3	-0,82	0,0	0,58	-1,0	0,0	< 0,05
4	0,0	-0,82	0,58	0,0	-1,0	< 0,05

REMARQUES : Par rapport au tableau ci-dessus, l'emplacement des microphones ne peut raisonnablement être choisi à la hauteur : $Z = 0,58 R$, car la hauteur de pose serait de : $Z = 29$ m. De ce fait, il est choisi le 2nd principe de mesure, où $X/R = 1,0 \Leftrightarrow$ Distance $X \geq R = 50$ m, $Y/R = 1,0 \Leftrightarrow$ Distance $Y = R = 50$ m et $Z/R < 0,05 \Leftrightarrow$ hauteur $Z < 0,05.R$; $Z < 2,50$ m. Nous choisirons la hauteur de 1,5 m, qui se trouve être la hauteur de sortie des gaz au plan horizontal de la tuyère.

IV-2 RESULTATS des ESSAIS

IV – 2.0 Généralités

NOTA 1: Le bruit résiduel (bruit de fond sonore) est de : 45 dBA. Ce bruit n'a aucune incidence sur les résultats des essais.

NOTA 2: Par définition, $L_w = L_p + 10 \text{ Log}_{10} S$, avec :

L_w = Niveau de puissance acoustique

L_p = moyenne géométrique des niveaux de pression acoustique aux points A ,B,C,D

S = Surface de mesure en m^2 .

En référence à la norme NF S 31-027, nous avons considéré pour S , une $\frac{1}{2}$ sphère de rayon : d , soit $S = 2 \pi d^2$

Pour $d = 20 \text{ m}$; $10 \text{ Log}_{10} S = 34 \text{ dBA}$

Pour $d = 50 \text{ m}$; $10 \text{ Log}_{10} S = 42 \text{ dBA}$

La Tolérance des mesures est de : $\pm 3 \text{ dB}$

IV – 2.1 Essais et Mesures du Matin

Le tableau suivant résume le calcul des « L_w » en dBA

N° TIR	L_p (dBA)	$10 \text{ Log } S$	L_w (dBA)
1	117	42	159
2	124	34	158
3	129	34	163
4	128	34	162
5	128	34	162

Tableau 3

Les niveaux sonores sont maximums sur les octaves 1000, 2000, 4000 cela correspond a des bruits hauts médium, aigus.

IV – 2.2 Essais et Mesures de l'Après Midi

Le tableau suivant résume le calcul des « L_w » en dBA

N° TIR	L_p (dBA)	$10 \text{ Log } S$	L_w (dBA)
6	120	34	154
7	123	34	157
8	117	34	151
9	124	34	158
10	122	34	156
11	122	34	156
12	121	34	155
13	120	34	154
14	119	34	153
15	119	34	153

Tableau 4

D8053/15

Les niveaux sonores sont maximums sur les octaves 63, 125, 250, 500 cela correspond a des bruits graves bas médium.

IV-3 PANEL de PROPULSEURS des ROQUETTES TESTES

(Tolérance : ± 3 dB)

N° TIR	Axe Propulseur	Type	Lot	Lp (dBA)	10 Log S	Lw (dBA)
1	Vertical	25H	8BT 6-88	117	42	159
2	Vertical	25H	8BT 6-88	124	34	158
3	Vertical	MK40	1-11FZD87	129	34	163
4	Vertical	FZ68	1FZD80	128	34	162
5	Vertical	FZ68	1FZD80	128	34	162
6	Horizontal	25H	8BT 6-88	120	34	154
7	Horizontal	MK40	1-11FZD87	123	34	157
8	Horizontal	25H	8BT 6-88	117	34	151
9	Horizontal	FZ68	1FZD80	124	34	158
10	Horizontal	MK40	1-11FZD86	122	34	156
11	Horizontal	MK40	1-11FZD86	122	34	156
12	Horizontal	FZ68	1FZD80	121	34	155
13	Horizontal	MK40	1-11FZD86	120	34	154
14	Horizontal	25H	8BT 6-88	119	34	153
15	Horizontal	MK40	1-11FZD86	119	34	153

Tableau 5

REMARQUE 1: Les valeurs mesurées sont comprises entre 151 dBA et 163 dBA

En particulier :

*- 25H : la puissance mesurée varie entre 151 dBA et 159 dBA

N° TIR	Axe Propulseur	Type	Lot	Lp (dBA)	10 Log S	Lw (dBA)
1	Vertical	25H	8BT 6-88	117	42	159
2	Vertical	25H	8BT 6-88	124	34	158
6	Horizontal	25H	8BT 6-88	120	34	154
8	Horizontal	25H	8BT 6-88	117	34	151
14	Horizontal	25H	8BT 6-88	119	34	153

Tableau 6

*- MK40 : la puissance mesurée varie entre 153 dBA et 163 dBA

N° TIR	Axe Propulseur	Type	Lot	Lp (dBA)	10 Log S	Lw (dBA)
3	Vertical	MK40	1-11FZD87	129	34	163
7	Horizontal	MK40	1-11FZD87	123	34	157
10	Horizontal	MK40	1-11FZD86	122	34	156
11	Horizontal	MK40	1-11FZD86	122	34	156
13	Horizontal	MK40	1-11FZD86	120	34	154
15	Horizontal	MK40	1-11FZD86	119	34	153

Tableau 7

D8053 / 16

*- FZ68 : la puissance mesurée varie entre 155 dBA et 162 dBA

N° TIR	Axe Propulseur	Type	Lot	Lp (dBA)	10 Log S	Lw (dBA)
4	Vertical	FZ68	1FZD80	128	34	162
5	Vertical	FZ68	1FZD80	128	34	162
9	Horizontal	FZ68	1FZD80	124	34	158
12	Horizontal	FZ68	1FZD80	121	34	155

Tableau 8

REMARQUE 2: Les 3 types de propulseurs ne sont pas similaires en terme de dimensions, en premier lieu, le FZ68 et le MK40 sont des quadri tuyères, alors que le 25H est mono tuyère. Comme le SA16 est une roquette disposant d'un propulseur mono tuyère, dans la suite du rapport, nous prendrons cet élément pour le comparer au SA16.

V ANALYSE & CORRELATION des Lw_p & Lw_{re}

(Selon Evaluation prédictive par les Coefficients de Similitudes)

① PRINCIPE :

Les facteurs de corrélation qui seront pris en compte seront au nombre de 2. En effet la méthode choisie consiste à comparer le facteur de corrélation constitué par le rapport pour un même engin entre la puissance théorique acoustique calculée selon les dimensions du propulseur et sa puissance réelle acoustique mesurée.

*- La puissance acoustique théorique calculée : $W_{théorique}$,

*- La puissance acoustique réelle mesurée : $W_{réelle}$

② SIMILITUDE :

Définition

- 1- Caractère de ce qui unit 2 choses semblables.
- 2- Rapport entre des personnes ou des choses qui présentent un certain nombre de caractéristiques communes.

Type de Roquette	$W_{théorique}$	$W_{réelle}$	$\Omega = W_{réel} / W_{théo}$
25H : Référence ①	$W_{théo,0}$	$W_{réel,0}$	Ω_0
Soviétique : SA16 ①	$W_{théo,1}$	Inconnue : X	Ω_1

Tableau 9

D8053 / JF

③ PUISSANCE réelle estimée :

Valeurs calculées et mesurées pour tous les propulseurs en essai chez TDA et pour 2 propulseurs complémentaires dont celui de la roquette SA16, objet de ce rapport.

Roquettes	Lw Calculée	Lw Mesurée	Tolérance/ Mes	Corrélation brute	Corrélation Nette
	dB(A)	dB(A)	ΔLw	%	%
SA 16	170				
25H	166	156	3 dB	0,94	0,96
MK40	165	158	3 dB	0,96	0,98
FZ68	163	160	3 dB	0,98	1,00

Tableau 10

NOTA 1 : La roquette 25H qui est mono propulseur est la seule à pouvoir être admise en comparaison avec le SA16, par ailleurs, les facteurs de corrélation des autres propulseurs, à savoir MK40 et FZ68 ont des valeurs sensiblement comparables.

INFORMATION : La puissance réelle estimée pour la roquette d'origine soviétique SA16 dépendra des éléments précédents issus du tableau 8, en particulier la roquette, qui par nature et dimensions est la plus représentative du panel proposée en essais chez TDA.

*- Par définition de la similitude : $\Omega_0 = \Omega_1 \Leftrightarrow \Omega_0 = \left(\frac{W_{réel}}{W_{théo}} \right)_0 = \left(\frac{X}{W_{théo}} \right)_1 = \Omega_1$

*- La valeur de la puissance réelle estimée ressort à : $X = W_{théo,1} \cdot \Omega_0$

④ **PREDICTION du NIVEAU de la PUISSANCE ACOUSTIQUE**
- MISSILE AIR / SOL : SA 16- en APPLICATION de la METHODE PRECITEE

La valeur prédictive estimée du niveau de puissance sonore, produit par le propulseur de la roquette SA16, est calculée selon la méthode précitée et sa formulation ressort ainsi :

Glossaire : n/c : non compris ; y/c : y compris

Valeur moy (n/c tolérance : +3dB): $X_{min} = \Omega_0 \cdot W_{théo,1} = 170 * 0,94 = 159,8 \approx 160 dBA$

Valeur maxi (y/c tolérance : +3dB): $X_{Max} = \Omega_0 \cdot W_{théo,1} = 170 * 0,96 = 163,2 \approx 163 dBA$

En définitive :

La puissance sonore estimée mesurable pour le SA16 vaut : $W_{SA16} = 160 \pm 3 dBA$

D8053 / 18

VI RECHERCHES des DIFFERENTS NIVEAUX de PRESSION ACOUSTIQUE

(Fonctions des positions présumées des départs de Tir / Observateur(s) points A/B en champs libre)

VI-1 RAPPEL sur la Relation Acoustique entre Puissance & Pression :

La formule acoustique de passage entre la puissance sonore et la pression sonore à une distance « d » de la source en champs libre est :

$$L_p = L_w - 20 \log_{10}(d) + 11$$

Avec :

Lp => Niveau de pression sonore en (dBA)

Lw => Niveau de puissance sonore en (dBA)

20log₁₀(d) => Décroissance sonore spatiale proportionnelle à la distance en (dBA)

VI-2-1 NIVEAUX de Pression Acoustique : [Repère A : Lt Col De St QUENTIN]

Les 4 points repères sont par ordre du plus près de l'observateur au plus loin :

- ① A proximité du camp de St QUENTIN.
- ② Le cimetière de KANOMBE
- ③ Le Pylône.
- ④ La Ferme

Pour les 4 positions initiales, déterminées par le collège d'experts précités, les valeurs de pression acoustique résiduelle en champs libre sont :

Tableau 11

Positions de Tirs	Lw _{moy}	Lw _{max}	Distance Pos-Tir / Point A	Lp _{moy}	Lp _{max}
	dBA	dBA	m	dBA	dBA
①	160	163	79	133	136
②	160	163	203	125	128
③	160	163	2177	104	107
④	160	163	2358	104	107

NOTA : la décroissance spatiale calculée est une décroissance en champs libre. Compte tenu de la déclivité du terrain, de l'absorption dudit terrain, non uniforme sur le parcours, il y a donc lieu d'être prudent, dans les valeurs calculées, principalement pour les positions ③ & ④.

VI-2-2 NIVEAUX de Pression Acoustique : [Repère B : PAVILLONS BELGES]

Les 6 points repères sont par ordre du plus près de l'observateur au plus loin :

- ① A proximité du camp de St QUENTIN.
- ② Le cimetière de KANOMBE.
- ③ Le Pylône.
- ④ La Ferme.

D8053 / 19

- ⑤ Villa présidentielle.
- ⑥ Angle du chemin accès au cimetière.

Pour les 6 positions initiales, déterminées par le collège d'experts précités, suite aux auditions belges, les valeurs de pression acoustique résiduelle en champs libre sont :

Positions de Tirs	Lwmoy	Lwmax	Distance Pos-Tir / Point B	Lpmoy	Lpmax
	dBA	dBA	m	dBA	dBA
①	160	163	79	133	136
②	160	163	203	125	128
③	160	163	2177	104	107
④	160	163	2722	102	105
⑤	160	163	812	113	116
⑥	160	163	116	130	133

Tableau 12

NOTA : *la décroissance spatiale calculée est une décroissance en champs libre. Compte tenu de la déclivité du terrain, de l'absorption dudit terrain, non uniforme sur le parcours, il y a donc lieu d'être prudent, dans les valeurs calculées, principalement pour les positions ③ & ④.*

VII ABSORPTION ACOUSTIQUE en FONCTION des RELEVÉS effectués sur Site

Comme cela a été précisé ci-dessus, l'absorption acoustique est fonction de la nature du sol sur lequel, les ondes acoustiques viennent plus ou moins rebondir, mais également de 2 autres paramètres, compte tenu de la diffusion, selon une $\frac{1}{2}$ sphère, du bruit produit par la tuyère du propulseur, ainsi que par les variations altimétriques du terrain.

Nous avons essayé de simuler par la trace d'un vecteur bruit parallèle au plan tangent sur le profil en long, depuis chacun des points issus des positions ③ & ④, sans tenir compte du rayonnement en $\frac{1}{2}$ sphère de la roquette.

Il apparaît de plus que la trajectoire montante de la roquette a un axe angulaire avec le sol provoquant un rayonnement dirigé vers le bas, donc absorbant, jusqu'à une hauteur, telle que la perpendiculaire issue de ce point particulier de la trajectoire, vienne intercepter le point A ou le point B

VIII CALCUL des différentes DUREES de PROPAGATION du SON

VIII – 1 : Rappel sur la valeur acoustique de propagation du son :

La propagation du son est fonction de paramètres, tels que la température et l'hygrométrie.

La température au niveau du sol le soir du 06 Avril 1994 : 19°C

D7053 / 20

Aucune donnée d'hygrométrie.

La formule permettant de calculer le paramètre « c : mur du son » est la suivante :

*- Aux conditions standards ($P_{atm} = 1013 \text{ mbar}$; $T_0 = 0^\circ\text{C}$) $\Leftrightarrow c = c_0 = 331,6 \frac{m}{s}$

*- Aux conditions réelles ($P_{atm} = 1013 \text{ mbar}$; $T = 19^\circ\text{C}$) $\Leftrightarrow c = 331,6 + 0,608 \cdot \theta_0$

Aux conditions du 06/04/1994, la célérité du son est égale à : $C = 343,152 \text{ m/s} \approx 343 \text{ m/s}$

C = 343 m/s

VIII – 2 : DUREES de PROPAGATION du SON :

VIII-2.1-1 Depuis les 4 positions présumées de tirs jusqu'au point A :

*- Rappel de l'équation reliant la distance parcourue à la vitesse et au temps mis pour parcourir la distance : $d = v \cdot t$

Durée de Parcours du Son			
Repères Tir	Distance SA16 / Point A	Célérité du Son	Durée du parcours (s)
①	79	343	0,23
②	203	343	0,59
③	2177	343	6,35
④	2358	343	6,87

Tableau 13

VIII-2.1-2 Depuis les 6 positions présumées de tirs jusqu'au point B :

*- Rappel de l'équation reliant la distance parcourue à la vitesse et au temps mis pour parcourir la distance : $d = v \cdot t$

Durée de Parcours du Son			
Repères Tir	Distance SA16 / Point B	Célérité du Son	Durée du parcours (s)
①	79	343	0,23
②	203	343	0,59
③	2177	343	6,35
④	2722	343	7,94
⑤	812	343	2,37
⑥	116	343	0,34

Tableau 14

D853 h4

VIII-2.2 Depuis les positions présumées de tirs jusqu'au FALCON 50 :

*- Rappel de l'équation d'un mouvement uniformément varié ou accéléré :

① Distance parcourue : $x = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot t^2 + v_0 \cdot t + x_0$

② Vitesse atteinte : $v = \gamma \cdot t + v_0$

*- Durée d'allumage globale jusqu'au FALCON 50 du SA 16 :

a) Amorçage :

*- Données:

$V_i = 0 \text{ m/s}; V_f = 20 \text{ m/s}; t_1 = 0,4\text{s};$ $v = \gamma \cdot t$

*- Calculs: $v_0 = 0; x_0 = 0; \Delta v = V_f - V_i = 20 - 0 = 20 \text{ m/s}$

*- Accélération: $\gamma = \frac{\Delta v}{t} = \frac{v_f - v_i}{t} = \frac{20 - 0}{0,4} = \frac{20}{0,4} = 50 \frac{m}{s^2}$

*- Distance parcourue: avec $v_0 = 0; x_0 = 0$ (roquette dans le tube lanceur)

$x = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot t^2 = \frac{1}{2} \cdot 50 \cdot (0,4)^2 = 4\text{m}$

*- Élévation : $h = x \cdot \sin 10^\circ = 4 \cdot \sin 10^\circ = 0,695\text{m}$

NOTA : L'élévation calculée est réalisée à partir d'un angle de tir moyen $\alpha \approx 10^\circ$. La roquette corrigeant elle-même sa trajectoire à tout instant.

b) Booster :

Données:

$V_i = 20 \text{ m/s}; V_f = 400 \text{ m/s}; t_2 = 1,7\text{s}$

*- Calculs: $v_0 = 20 \text{ m/s}; x_0 = 4 \text{ m}; V_f - V_i = 400 - 20 = 380 \text{ m/s}$

*- Accélération: $\gamma = \frac{\Delta v}{t} = \frac{v_f - v_i}{t} = \frac{400 - 20}{1,7} = \frac{380}{1,7} = 223,53 \frac{m}{s^2}$

*- Distance parcourue depuis le lanceur : avec $v_0 = 20 \text{ m/s}; x_0 = 4 \text{ m}$

$x = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot (t)^2 + v_0 \cdot t + x_0 = \frac{1}{2} \cdot 223,52 \cdot (1,7)^2 + 20 \cdot 1,7 + 4 = 361\text{m}$

*- Élévation : $h = x \cdot \sin 10^\circ = 361 \cdot \sin 10^\circ = 62,687\text{m}$

c) Croisière :

Données:

$V_i = 400 \text{ m/s}; V_f = 547 \text{ m/s}; t_3 = 5,5\text{s}$

*- Calculs: $v_0 = 400 \text{ m/s}; x_0 = 361 \text{ m}; V_f - V_i = 547 - 400 = 147 \text{ m/s}$

D8033 / 2

*- Accélération: $\gamma = \frac{\Delta v}{t} = \frac{v_f - v_i}{t} = \frac{547 - 400}{5,5} = \frac{147}{5,5} = 26,73 \frac{m}{s^2}$

*- Distance parcourue depuis le lanceur : avec $v_0 = 400 \text{ m/s}$; $x_0 = 361 \text{ m}$

$$x = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot (t)^2 + v_0 \cdot t + x_0 = \frac{1}{2} \cdot 26,73 \cdot (5,5)^2 + 400 \cdot 5,5 + 361 = 2965 \text{ m}$$

*- Elévation : $h = x \cdot \sin 10^\circ = 2965 \cdot \sin 10^\circ = 514,92 \text{ m}$

NOTA : Distance maximale couverte par la roquette avec son moteur en fonction, après ce temps commence le vol plané sans bruit du moteur.

d) Durée réelle de fonctionnement du moteur de croisière :

Données:

$V_i = 400 \text{ m/s}$; $V_f = 547 \text{ m/s}$;

Distance entre l'allumage du moteur de croisière et l'impact :

Ex : Position ①

$$x_3 = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot (t)^2 + v_2 \cdot t + x_2 \Leftrightarrow \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot (t)^2 + v_2 \cdot t + x_2 - x_3 = 0$$

Délai entre l'allumage du moteur de croisière et l'impact :

$$t_3 = \frac{-b \pm \sqrt{\Delta'}}{a} = \frac{-200 \pm \sqrt{\left(200^2 - \frac{26,73}{2} \cdot (-597)\right)}}{26,73} = \frac{-200 \pm 219,04}{26,73} = \frac{2 \cdot (-200 \pm 219,04)}{26,73}$$

$$t_3' = 1,425 \text{ s} \approx 1,43 \text{ s} \quad t_3'' = -31,354 \text{ s} \approx -31,4 \text{ s}$$

En physique, le temps ne peut prendre de valeur négative, il s'ensuit que la

seule racine réelle de l'équation est : $t_3' = 1,425 \text{ s} \approx 1,43 \text{ s}$

Ce temps varie en fonction de la distance donc de la position de tir

e) Durée d'accélération (booster) pour passer le mur du son :

Données:

$V_i = 20 \text{ m/s}$; $V_{ms} = 343 \text{ m/s}$; $x_1 = 4 \text{ m}$

Délai entre l'allumage du moteur d'accélération et le mur du son :

$$t_{MS} = \frac{V_{MS} - V_i}{\gamma_2} = \frac{343 - 20}{223,52} = 1,445 \text{ s}$$

Distance entre l'allumage de la roquette et le franchissement du mur du son :

$$x = \frac{1}{2} \cdot \gamma_2 \cdot (t_{MS})^2 + v_1 \cdot t_{MS} + x_1 = \frac{1}{2} \cdot 223,52 \cdot (1,445)^2 + 20 \cdot 1,445 + 4 = 266,258 \text{ m}$$

Elévation entre l'allumage de la roquette et le franchissement du mur du son :

$$h_{MS} = x_{MS} \cdot \sin 10^\circ = 46,235 \text{ m}$$

D2003 / 23

Depuis les 4 positions présumées de tirs jusqu'au point A :

Tableau 15

Repères Tir	x3	x2	c=x2-x3	a = $\gamma/2$	b = v0	b'=b/2	$\Delta'=b'^2-a.c$	racine (Δ)	t'3	t''3	v'3
❶	958	361	-597	13,365	400	200	47978,91	219,04	1,42	-31,35	438,08
❷	947	361	-586	13,365	400	200	47831,89	218,71	1,40	-31,33	437,41
❸	1877	361	-1516	13,365	400	200	60261,34	245,48	3,40	-33,33	490,96
❹	2358	361	-1997	13,365	400	200	66689,91	258,24	4,36	-34,29	516,49

Depuis les 6 positions présumées de tirs jusqu'au point B :

Tableau 16

Repères Tir	x3	x2	c=x2-x3	a = $\gamma/2$	b = v0	b'=b/2	$\Delta'=b'^2-a.c$	racine (Δ)	t'3	t''3	v'3
❶	956	361	-595	13,37	400	200	47952,18	218,98	1,42	-31,35	437,96
❷	944	361	-583	13,37	400	200	47791,8	218,61	1,39	-31,32	437,23
❸	1876	361	-1515	13,37	400	200	60247,98	245,45	3,40	-33,33	490,91
❹	2358	361	-1997	13,37	400	200	66689,91	258,24	4,36	-34,29	516,49
❺	519	361	-158	13,37	400	200	42111,67	205,21	0,39	-30,32	410,42
❻	1099	361	-738	13,37	400	200	49863,37	223,30	1,74	-31,67	446,6

NOTA : Les valeurs t' et t'' sont les racines de l'équation $at^2+bt+c = 0$
 Toutefois, la racine t'' étant négative, sa valeur dans les réels n'existe pas

f) Durée réelle de parcours des roquettes jusqu'à l'impact :

Depuis les 4 positions présumées de tirs jusqu'au point A :

Tableau 17

Durée parcours Roquette				
Repères Tir	t1	t2	t3	Tglobal
❶	0,4	1,7	1,4247	3,52
❷	0,4	1,7	1,3996	3,50
❸	0,4	1,7	3,4031	5,50
❹	0,4	1,7	4,36	6,46

Depuis les 6 positions présumées de tirs jusqu'au point B :

Tableau 18

Durée parcours Roquette				
Repères Tir	t1	t2	t3	Tglobal
❶	0,4	1,7	1,4201	3,52
❷	0,4	1,7	1,3927	3,49
❸	0,4	1,7	3,401	5,50
❹	0,4	1,7	4,3579	6,46
❺	0,4	1,7	0,3899	2,49
❻	0,4	1,7	1,7434	3,84

D8053 / 24

NOTA : la durée de propagation du son depuis l'impact jusqu'au point d'observation A est égal à : 2,97 s \Leftrightarrow Aucune incidence sur la détermination des positions de tir éventuelles, à l'exception de la position ⑥.

IX CROISEMENT des DUREES de PROPAGATION du SON & DUREE de PARCOURS des ROQUETTES

IX-1 Comparons les tableaux 13 & 17

Durée de Propagation du Son			
Repères Tir	Distance SA16 / Point A	Célérité du Son	Durée du propagation (s)
①	79	343	0,23
②	203	343	0,59
③	2177	343	6,35
④	2358	343	6,87

Tableau 13

NOTA : Plus la distance du tir à l'observateur (point A) est importante, plus le temps mis par le son est important.

Durée parcours Roquette				
Repères Tir	t1	t2	t3	Tglobal
①	0,4	1,7	1,4247	3,52
②	0,4	1,7	1,3996	3,50
③	0,4	1,7	3,4031	5,50
④	0,4	1,7	4,36	6,46

Tableau 17

IX-2 Comparons les tableaux 14 & 18

Durée de Parcours du Son			
Repères Tir	Distance SA16 / Point B	Célérité du Son	Durée du parcours (s)
①	79	343	0,23
②	203	343	0,59
③	2177	343	6,35
④	2722	343	7,94
⑤	812	343	2,37
⑥	116	343	0,34

Tableau 14

NOTA : Plus la distance du tir à l'observateur (point B) est importante, plus le temps mis par le son est important.

D8053 / 25

Durée parcours Roquette				
Repères Tir	t1	t2	t3	Tglobal
①	0,4	1,7	1,4201	3,52
②	0,4	1,7	1,3927	3,49
③	0,4	1,7	3,401	5,50
④	0,4	1,7	4,3579	6,46
⑤	0,4	1,7	0,3899	2,49
⑥	0,4	1,7	1,7434	3,84

Tableau 18

X **TABLEAU des POSSIBILITES de TIR**

On s'aperçoit que seules les positions où le délai de propagation du son est inférieur au temps mis par la roquette pour parcourir son trajet est **valide**. Dans les autres cas, l'explosion due à l'impact aura eu lieu, avant que les éventuels observateurs alertés par le bruit du tir, aient pu le percevoir.

X-1 Depuis les 4 positions présumées de tirs jusqu'au point A :

Possibilités de Tirs			
Repères Tir	T _{roquette}	T _{propson}	Possibilités
①	3,52	0,23	OUI
②	3,50	0,59	OUI
③	5,50	6,35	IMPOSSIBLE
④	6,46	6,87	IMPOSSIBLE

Tableau 19

En définitive, seules les positions ① & ② sont compatibles, donc admissibles.

X-2 Depuis les 6 positions présumées de tirs jusqu'au point B :

Possibilités de Tirs			
Repères Tir	Troquette	Tpropson	Possibilités
①	3,52	0,23	OUI
②	3,49	0,59	OUI
③	5,50	6,35	IMPOSSIBLE
④	6,46	7,94	IMPOSSIBLE
⑤	2,49	2,37	OUI
⑥	3,84	0,34	OUI

Tableau 20

Q1 : Prendre attache avec les experts commis par ordonnance ci-jointe du 21 Avril 2010 et participer à toutes réunions utiles afin de prendre pleinement connaissance des aspects techniques des questions pour lesquelles les experts ont demandé son adjonction ;

R1 : J'ai pris contact avec le collège d'experts précédemment nommé, j'ai participé à plusieurs réunions conjointes, à la fois dans le cabinet du juge m'ayant mandé, que chez TDA, pour les essais acoustiques des propulseurs, qu'à Toulouse pour les réunions de recolléments des données et des informations.

Q2 : Récupérer auprès d'eux toutes les données techniques utiles (nombre de décibels produits par le départ des divers missiles susceptibles d'avoir été utilisés, particularités topographiques etc.....) ;

R2 : J'ai pu récupérer auprès d'eux, les éléments essentiels, m'ayant permis de faire l'analyse présentée dans le cadre de ce rapport. En particulier, auprès de M CHAVANIS et de M VAN SCHENDEL, toutes les informations techniques relatives aux roquettes et missiles SOL / AIR, auprès de M SOMPAYRAC, toutes les données altimétriques et topologiques de l'accident, auprès de M HUON, celles relatives à la balistique, enfin auprès de Mme OOSTERLINCK, celles relatives aux conditions météorologiques et au FALCON 50.

Q3 : Prendre connaissance en particulier des cotes ci-jointes D353 à D358 (Audition du Lieutenant-Colonel Grégoire de Saint-Quentin), D2569 et D2570 (Audition de Daniel Daubresse), D2577 à D2579 (Audition de Massimo Pasuch), D2595 à D2597 (Plan établi par la Gendarmerie Belge permettant de localiser notamment la maison de Mr Pasuch – matérialisée par le chiffre « 2 » sur la carte), D7267 (idem en A3), D2715 et D2716 (Audition de Philippe Leiding), D2866 (Journal de l'armée belge localisant la résidence du Docteur Pasuch à 200m à l'est de l'hôpital militaire de KANOMBE), D7280 (Audition de Joséphine Mukazitoni) ;

R3 : J'ai pris connaissance de l'ensemble des pièces qui m'ont été remises par le cabinet du juge d'instruction, ainsi que des commentaires s'y rattachant, illustrant le rapport collégial.

Q4 : Nous préciser dès que possible les questions qu'il serait utile de poser aux témoins déjà entendus mentionnés ci-dessus ou à ceux dont il est fait référence dans leur audition et qui aurait également pu entendre le départ des tirs ;

R4 : Les questions complémentaires, pour lesquelles j'aurais souhaitées obtenir une réponse sont les suivantes :

*- Lt Colonel St QUENTIN : Lors de cette soirée, préciser sa localisation (dans la maison ou en dehors), si dedans le vitrage était il fermé (oui / non), quel était la nature des parois : Murs, Plafond, Vitrages, etc....

D3033 / 23

*- Autres témoins : Si possible leurs positions précises en X et en Y / plan (J SOMPAYRAC)

(Nécessité de tracer sur une vue en plan, les axes « xOy » avec le repérage précis des acteurs)

Q5 : Dès que la planche photographique réalisée au RWANDA aura été établie, en prendre connaissance ;

R5 : J'ai pris connaissance de l'ensemble des planches topographiques réalisées par M SOMPAYRAC.

Q6 : Donner toutes indications techniques utiles sur la façon dont un bruit de tir est susceptible de se propager dans les circonstances de l'espèce (tirs partant du sol vers le ciel, vitesse de propagation, distance maximale de propagation, délai pour un témoin entre la perception du bruit et celle de la lumière) ;

R6 : Comme cela a été précisé d'une part dans la méthode d'analyse prédictive pour donner la puissance sonore émise par la roquette SA 16 (cf. : § III) et dans les calculs de décroissance pour évaluer la pression sonore ressentie aux point A/B (cf. : § VI) depuis le faisceau de tirs.

Toutefois, nous n'avons pas pu évaluer avec certitude, l'absorption par effet de sol, ni par topologie du terrain, ni les éventuels masques sonores présents sur le libre parcours moyen des ondes, depuis leur émission jusqu'à leur réception.

Enfin, le niveau sonore ambiant chez le Lt Col St QUENTIN au moment précis des faits. Enfin nous n'avons pas pu évaluer l'éventuelle absorption du son, dans la phase supersonique ($M \geq 1 \Leftrightarrow V \geq 343 \text{ m/s}$) du mouvement de la roquette.

En revanche, nous pouvons affirmer, que le niveau de pression sonore pouvait être perceptible de toutes les positions de tirs précitées, car $L_p \geq 102 \text{ dBA}$. Il apparaît improbable que l'ensemble des possibilités d'absorption énumérées ci-dessus, puisse avoir sur la valeur résiduelle une action réductrice supérieure à 20 dBA. Nous avons pu constater qu'une discussion animée de 3 personnes pouvait fournir un niveau de pression sonore au moins égal à 80dBA – 85 dBA. Dans le cas, où le ou les témoins étaient dehors au moment des 2 tirs, certains ont pu être attiré visuellement, avant de ressentir l'impact auditif. En effet les vitesses de propagation de la lumière ($V_L = 300\,000 \text{ km/s}$, soit $300\,000\,000 \text{ m/s}$) et du son ($V_S = 343 \text{ m/s}$) sont dans un rapport de : $R = 300000000 / 343 \approx 874\,636$, soit à peu près dans un rapport de (1 million) 10^6 . Ce rapport illustre bien quelle perception, l'être humain est capable d'apprécier sur le plan de la rapidité en présence des 2 phénomènes.

Q7 : Tenter pour chacun des témoins, de déterminer à quelle distance approximative (l'utilisation d'une fourchette est envisageable), il se trouvait pour pouvoir entendre le départ des tirs et, pour certains d'entre eux, entendre puis voir ensuite des traînées lumineuses dans le ciel pouvant correspondre à la trajectoire des projectiles ;

R7 : Nous avons comparé d'une part le temps de propagation des 2 départs de tir ① & ② par rapport à la distance relative vis-à-vis de ces 2 positions des 12 témoins.

D8053 / h28

 Position Repère A : Maison du Lt Col Grégoire de St QUENTIN

Conclusion : L'ensemble des couples solutions en fonction des 2 positions de tir reconnues plausibles sont résumés dans le tableau ci-dessous, à partir des tableaux repérés 22, 23 et 24 de l'annexe A au rapport

TEMOINS	Couple SOLUTIONS①	Couple SOLUTIONS②
1	IMPOSSIBLE	IMPOSSIBLE
2	POSSIBLE	POSSIBLE
3	POSSIBLE	POSSIBLE
4	IMPOSSIBLE	IMPOSSIBLE
5	POSSIBLE	POSSIBLE
6	IMPOSSIBLE	IMPOSSIBLE
7	IMPOSSIBLE	IMPOSSIBLE
8	IMPOSSIBLE	IMPOSSIBLE
9	POSSIBLE	IMPOSSIBLE
10	IMPOSSIBLE	IMPOSSIBLE
11	IMPOSSIBLE	IMPOSSIBLE
12	IMPOSSIBLE	IMPOSSIBLE

Tableau 21

Nous avons comparé d'autre part le temps de propagation des 4 départs de tir : ①, ②, ⑤ & ⑥ par rapport à la distance relative vis-à-vis de ces 4 positions des 12 témoins.

Conclusion : L'ensemble des couples solutions en fonction des 4 positions de tir reconnues plausibles sont résumés dans le tableau ci-dessous, à partir des tableaux repérés 26, 27, 28, 29, 30 et 31 de l'Annexe A du Rapport.

Position Repère B : Maisons des Dr DAUBRESSE & Dr PASUCH & Mme VAN DEENEN

Position B	Couple SOLUTIONS①	Couple SOLUTIONS②	Couple SOLUTIONS⑤	Couple SOLUTIONS⑥
1	IMPOSSIBLE	IMPOSSIBLE	IMPOSSIBLE	IMPOSSIBLE
2	POSSIBLE	POSSIBLE	POSSIBLE	POSSIBLE
3	POSSIBLE	POSSIBLE	POSSIBLE	POSSIBLE
4	IMPOSSIBLE	IMPOSSIBLE	IMPOSSIBLE	IMPOSSIBLE
5	POSSIBLE	POSSIBLE	POSSIBLE	POSSIBLE
6	IMPOSSIBLE	IMPOSSIBLE	IMPOSSIBLE	IMPOSSIBLE
7	IMPOSSIBLE	IMPOSSIBLE	IMPOSSIBLE	IMPOSSIBLE
8	IMPOSSIBLE	IMPOSSIBLE	IMPOSSIBLE	IMPOSSIBLE
9	POSSIBLE	POSSIBLE	POSSIBLE	POSSIBLE
10	POSSIBLE	POSSIBLE	POSSIBLE	POSSIBLE
11	IMPOSSIBLE	IMPOSSIBLE	IMPOSSIBLE	IMPOSSIBLE
12	IMPOSSIBLE	IMPOSSIBLE	IMPOSSIBLE	IMPOSSIBLE

Tableau 25

Remarques : On peut remarquer que les 4 ensembles de Couple-Solutions sont en totale cohérence les uns par rapport aux autres. Ceci est d'autant plus vraisemblable que les 4 positions de Tirs sont relativement groupés sur l'abscisse de leurs positions

Q8 : Donner toutes autres précisions techniques utiles en rapport avec la mission et les questions soulevées par les premiers experts commis ;

R8 : L'analyse des mesures réalisées sur le pas de tir de chez TDA, ainsi que les calculs effectués en corrélation pour déterminer la puissance sonore du SA16, ont permis de fournir une valeur initiale incontournable. La décroissance spatiale engendrée à la fois par la distance et les conditions météorologiques nous a permis de fournir le niveau de pression sonore perçu au point A, en fonction des différentes positions de tirs. Le niveau de pression sonore est au moins égal à 102 dBA, donc même dans l'hypothèse où une discussion animée existait au moment des faits, il est fort probable que ce niveau sonore aurait été perceptible en tous points des tirs.

La seule corrélation permettant d'émettre un avis plus circonstancié est celle comparant les temps de propagation du SA 16 depuis son allumage jusqu'à l'impact et la propagation du bruit, depuis l'allumage jusqu'au point A de l'observateur et pour tous les cas recensés de tirs (4 cas).

Incidence de l'audition de Mme VAN DEENEN : L'audition de Mme VAN DEENEN établie le mercredi 12/10/2011 par les services de police judiciaire fédérale de l'arrondissement de Bruxelles, confirme la position de départ des 3 tirs. En effet, elle précise qu'elle se trouvait au moment de l'évènement dans l'une des 3 maisons qui bordaient la piste d'envol de l'aéroport. De plus elle ajoute avoir nettement vu des lueurs par la fenêtre donnant vers l'ouest (cf. : plan de l'audition). Cette nouvelle information permet de conforter les résultats précédents et de mettre en évidence que le départ de tir serait plutôt au point ① qu'aux points ② ou ③.

Incidence de l'audition du Dr DAUBRESSE : L'audition du Dr DAUBRESSE établie le lundi 26/10/2011 par les services de police judiciaire fédérale de l'arrondissement de Bruxelles, conforte la position de départ des 2 tirs. En effet, il précise qu'il se trouvait au moment de l'évènement dans l'une des 3 maisons qui bordaient la piste d'envol de l'aéroport. De plus il ajoute avoir nettement vu des lueurs par la fenêtre sans se souvenir de son orientation Est/Ouest (cf. : plan de l'audition). Cette nouvelle information permet de conforter les résultats précédents et de mettre en évidence que le départ de tir serait plutôt au point ② ou ③ qu'au point ①.

Incidence de l'audition du Dr PASUCH : L'audition du Dr PASUCH établie le vendredi 21/10/2011 par les services de police judiciaire fédérale de l'arrondissement de Bruxelles, conforte la position de départ des 2 tirs. En effet, il précise qu'il se trouvait au moment de l'évènement dans l'une des 3 maisons qui bordaient la piste d'envol de l'aéroport. De plus il ajoute avoir nettement vu des lueurs par la fenêtre sans se souvenir de son orientation Est/Ouest (cf. : plan de l'audition). Cette nouvelle information permet de conforter les résultats précédents et de mettre en évidence que le départ de tir serait plutôt au point ② ou ③ qu'au point ①.

Incidence de l'audition du Gal De St QUENTIN : L'audition du Général De St QUENTIN établie le mercredi 07/12/2011 par Les Vice-Présidents en charge de l'Instruction dans leur Cabinet Parisien, précise la position probable de départ des 2 tirs. En effet, il précise qu'il se trouvait au moment de l'évènement dans sa maison proche de celles des belges qui bordaient la piste d'envol de l'aéroport. De plus il ajoute avoir nettement vu un halo par la fenêtre donnant vers le Nord (cf. : plan de l'audition).

XI CONCLUSIONS

En résumé,

- Tout au long de cette étude complexe en acoustique, nous avons pu mettre en relations les équations de propulsion avec celles relatives à l'acoustique.
- Afin de déterminer par similitude, la valeur de la puissance sonore du SA16, nous avons donc effectué des mesures de puissance sonore sur un panel de propulseurs mis à notre disposition par le centre d'essais chez T.D.A.
- A partir des valeurs calculées avec et sans tolérance et de celles mesurées chez TDA, nous avons pu déterminer avec une précision suffisante, la puissance sonore réelle du SA 16. (Corrélation entre les valeurs calculées et mesurées supérieure ou égale à : $\geq 94\%$). Cf. : Tableau 10
- Par la formulation définie au § VI-1, j'ai donc été amené à préciser que la pression sonore résultant de la décroissance atmosphérique seule était perceptible, quelque soit la position de départ des tirs. Cf. : Tableau 11
- Il apparait donc que l'écart de niveau de puissance sonore entre la valeur calculée et la valeur mesurée est consécutive à la nature des phénomènes d'ondes dans le domaine supersonique étant encore mal connus et les absorptions naturelles par effet de sol commençant seulement à être quantifiées.
- En comparant d'une part les durées de propagation du son entre la position de chaque départ de tirs et le point A (Lt Col G. De St QUENTIN) et celles relatives aux durées de parcours des roquettes jusqu'à l'impact sur le FALCON 50 et d'autre part les durées de propagation du son entre la position de chaque départ de tirs et le point B (VAN DEENEN – Dr PASUCH – Dr DAUBRESSE) et celles relatives aux durées de parcours des roquettes jusqu'à l'impact sur le FALCON 50, Cela nous permet d'affirmer que sur les positions 3 & 4, il était totalement impossible d'entendre le départ de tir avant l'impact du FALCON 50.
- Le tableau des possibilités de tir explique la relation précédente en fournissant les positions possibles de tirs par rapport aux temps de parcours du son et de la roquette.
- je peux affirmer que les positions ③ & ④ ne sont pas des positions de tirs plausibles. Cf. : Tableaux 19 & 20
- La position de Tir ⑤ n'est pas non plus une position de tir plausible, dans la mesure où indépendamment des considérations acoustiques, la roquette n'avait pas de repère thermique, puisqu'elle arrivait par le devant de l'avion. (cf : auto direction de la roquette).
- En définitive, les positions ①, ② & ⑥ sont les positions les plus probables tant d'un point de vue acoustique, que d'un point de vue balistique, vis-à-vis de la position des témoins repérée B, même si l'audition de Mme VAN DEENEN n'a pas confirmé l'orientation cardinale des Docteurs PASUCH & DAUBRESSE (Pavillons des BELGES : Dr PASUCH, Dr DAUBRESSE & Mme VAN DEENEN).

D8053 / 31

JE CERTIFIE AVOIR REMPLI PERSONNELLEMENT MA MISSION
LE PRÉSENT RAPPORT FINAL EST CLOS EN MON CABINET LE 04/01/2012.

Fait à : Les AUTHIEUX
L'expert
Cabinet d'Expertises
Jean-Pascal SERRE
Expert près la Cour d'Appel de ROUEN
20, rue André Bourvil
76520 LES AUTHIEUX PORT ST OUEEN
Tél/Fax : 02 35 61 95 04 Port: 06 81 30 49 24
Jean - Pascal SERRE

- PJ :**
- Annexe A : Rapport_O.CHAVANIS - Comparatif propu missiles et roquettes**
 - Annexe B : Tableaux Comparatifs Durées de Propagation du Son**
 - Annexe C : Plan général des Témoins N° Pièce : TOPO 6bis**
 - Annexe D : Planche topographique N° Pièce : 14**
 - Annexe E : Plans de chaque Témoin N° Pièce : Plans des Témoins (N°1 à 12)**