

Analyse du dossier vidéo de Decazeville

(François Louange, avril 2013)

Témoignage et données

Le 21 mai 2008 au soir, le témoin était allongé sur son lit, en face d'une fenêtre ouverte. Après avoir remarqué une lumière « étrange » au-dessus des collines depuis quelques minutes, puis l'avoir observée avec des jumelles, il filma la scène à l'aide de son caméscope analogique Canon UC8000 équipé d'un zoom (x22) et d'un autofocus FlexiZone (<http://www.magic-photo.com/canon/uc8000.htm>).



Le document a été transmis pour analyse sous la forme d'un fichier [vidéo](#), d'une durée totale de 6'13", dont 6'8" correspondant à l'observation nocturne.

La visualisation de cette vidéo évoque fortement l'approche à basse altitude d'un avion, dont les différents feux apparaissent progressivement : feux de navigation, feux anticollision, phare d'atterrissage (jusqu'à 5 feux sont discernables sur le document).

Par ailleurs, la zone de l'observation s'avère être « incluse dans une zone d'entraînement basse et moyenne altitude pour les chasseurs et les avions de transport tactique de type C160 Transall et C130 Hercules, et activable H24 avec court préavis pour entraînement ou exercice ». Il est donc raisonnable d'envisager qu'un C160 ou un C130 effectuait une mission nocturne d'entraînement à l'aérolargage.

Données complémentaires sur les avions transporteurs C160 Transall et C130 Hercules

Principales caractéristiques :

	C160 Transall	C130 Hercules
Longueur	32,4 m	29,8 m
Envergure	40 m	40,4 m
Vitesse maximale	510 Km/h	592 Km/h
Vitesse de croisière	490 Km/h	540 Km/h
Vitesse de décrochage	?	185 Km/h

On peut supposer que pour une mission en basse altitude, la vitesse de ces avions se situe **entre 300 et 500 Km/h**.

Description de la vidéo

Le document vidéo ne permet aucune mesure angulaire directe, car le fond est noir, la caméra bouge beaucoup, l'objet observé est le plus souvent flou (hors focus) et le zoom est modifié en permanence, notamment dans le but de réactiver l'autofocus.

Après une période initiale sans visibilité de l'objet, celui-ci apparaît d'abord sous la forme d'une source lumineuse ponctuelle, puis de trois lumières pendant assez longtemps, enfin de 4 et 5 lumières en fin de séquence, dont au moins une clignote.



100401



180595



279058

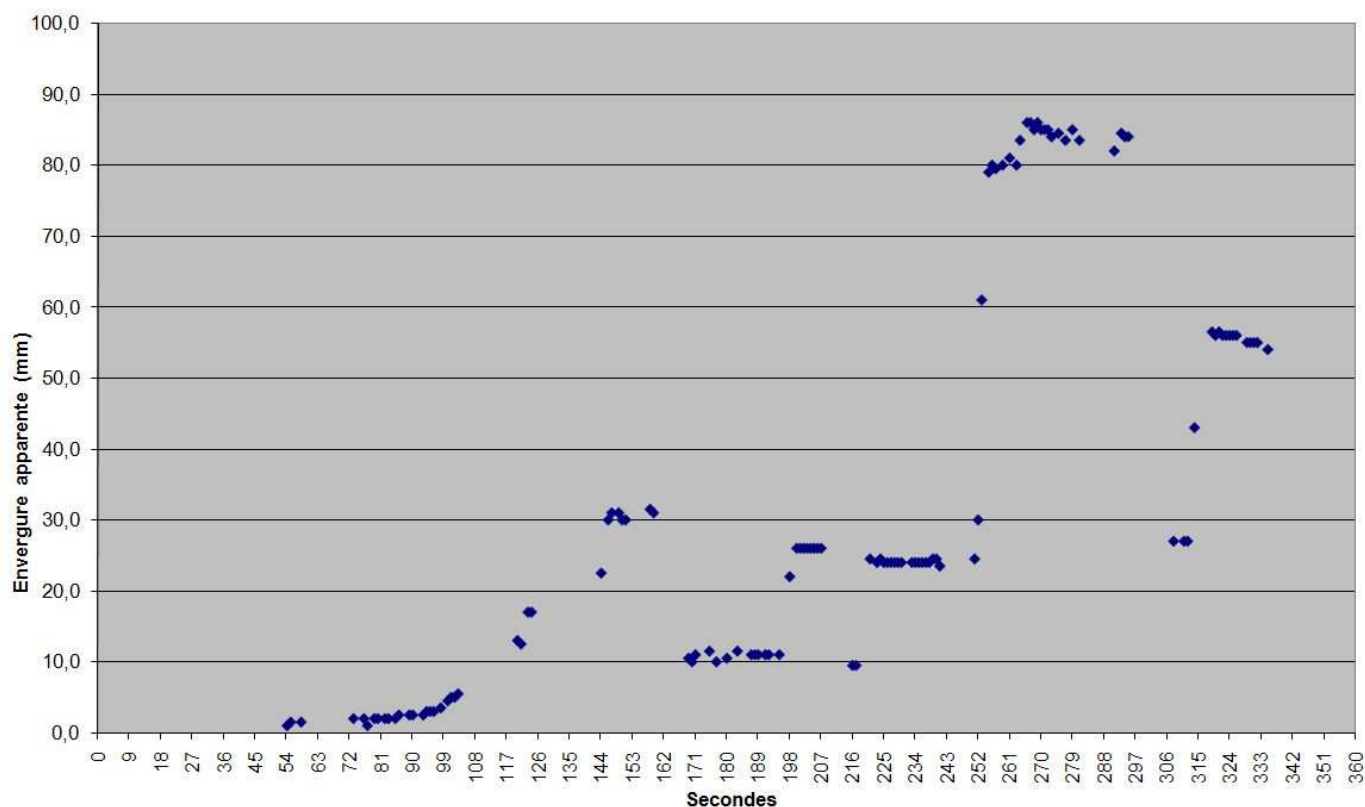
Les trames sont identifiées par le temps (ms), qui va de 0 à 372949 ms.

Analyse de la vidéo

La chronologie des opérations et des calculs a été la suivante :

1. Le document vidéo a été visualisé trame par trame, et toutes les trames à peu près au point ont été extraites et identifiées par le temps correspondant. Le résultat consiste en un jeu d'environ 200 images, identifiées par leur temps en ms. L'intervalle couvert va de 54057 à 334912, soit une durée totale utile de 4'41^s.
2. Sur chaque image extraite, visualisée sur écran dans des conditions rigoureusement identiques, la longueur séparant les deux lumières extrêmes observées (envergure apparente) a été mesurée en mm (avec la précision permise par la lisibilité et la netteté des images).
3. Un tableau de points Excel a été créé, avec en abscisse les temps (s) et en ordonnée les mesures effectuées (mm). Le contenu final de ce tableau est le suivant, sous forme graphique :

Evolution de l'envergure apparente

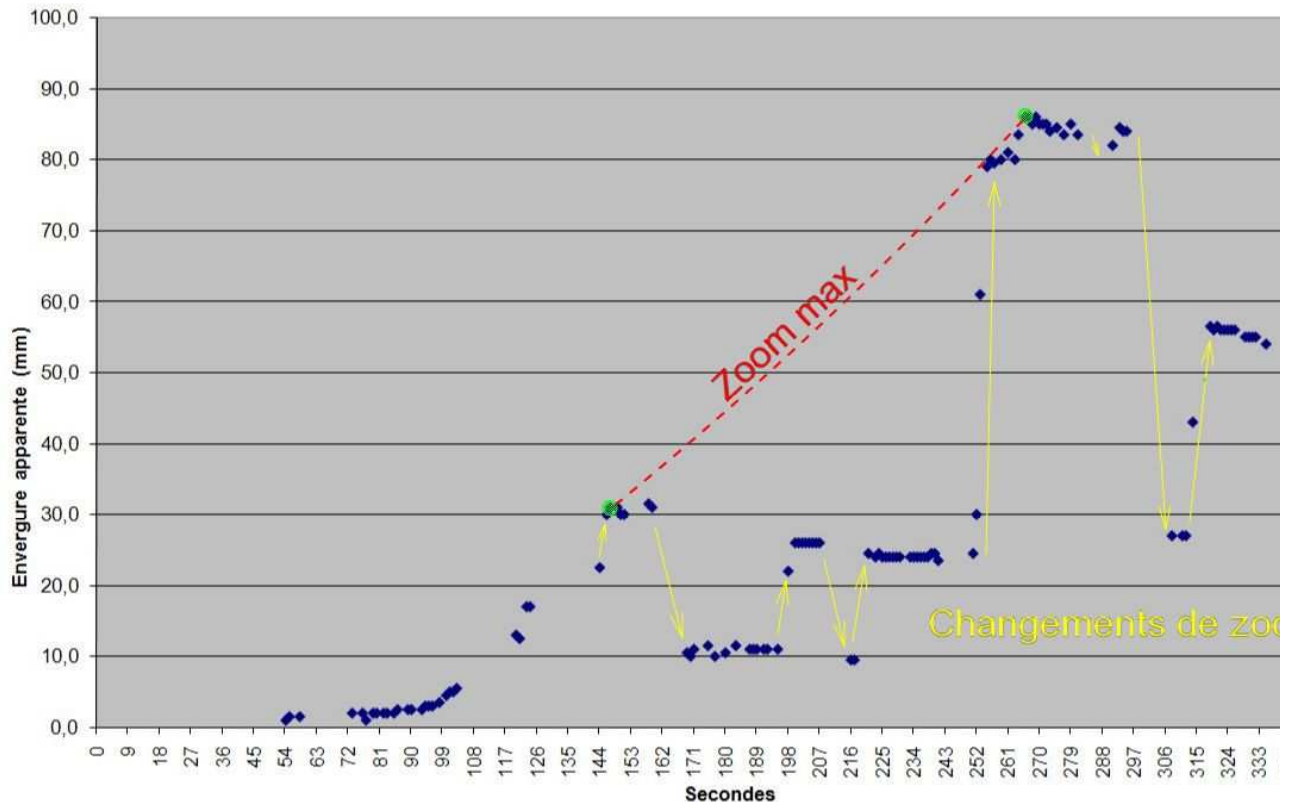


4. Les hypothèses suivantes ont été considérées comme raisonnables :

- Les variations brusques observées dans le tableau correspondent à des changements de zoom.
- L'opérateur a toujours dû appliquer le zoom maximum compatible avec la mise au point par l'autofocus, et chaque fois que c'était possible le zoom maximum de l'appareil (x22), notamment dans la seconde moitié du document.
- Les points correspondant aux images obtenues avec le zoom maximum de la caméra se situent sur une courbe traduisant l'approche continue de l'objet, capté avec une même longueur focale (caméra + zoom maximum).

Ces considérations sont illustrées par le graphe suivant, où apparaissent en vert deux points de mesure particuliers, supposés correspondre au zoom maximum, utilisés par la suite :

Evolution de l'envergure apparente



5. Les hypothèses suivantes, concernant l'objet lui-même et son mouvement, ont été prises :

- L'envergure réelle de l'objet reste constante.
- La vitesse de l'objet reste constante (le témoin n'a observé aucune discontinuité dans le mouvement)
- L'objet se déplace globalement vers le témoin, même ce n'est pas tout à fait en ligne droite, comme on le verra plus loin.
- Les points de mesure situés sur la courbe « Zoom max » correspondent à des instants où l'objet se présente à peu près de face, montrant son envergure sous un angle maximal.

Dans ces conditions, deux équations peuvent être posées pour relier les grandeurs suivantes :

E : envergure réelle de l'objet (m)

V : vitesse de l'objet (Km/h)

D(t) : distance de l'objectif (Km) en fonction du temps t (s)

L(t) : mesure sur écran de l'envergure apparente de l'objet (mm) en fonction du temps t (s)

Première équation

Elle découle de la relation entre l'angle α sous lequel on observe un objet, sa longueur transversale E et sa distance D :

$$E = 2 D \operatorname{tg}(\alpha/2)$$

qui, lorsque l'angle α est petit, se simplifie en :

$$E = D \operatorname{tg}(\alpha)$$

Sur la photo correspondante, la tangente de l'angle α est égale au rapport entre la longueur L de l'image de l'objet mesurée dans le plan du capteur et la longueur focale f :

$$\operatorname{tg}(\alpha) = k L / f$$

où la constante k est le coefficient de passage d'une mesure dans le plan du capteur à la mesure L effectuée sur

écran. Il en résulte :

$$E = k D L / f$$

D'où l'on déduit, pour la présente analyse :

$$K = D(t) L(t) \quad (1)$$

où la constante unique K tient compte à la fois de l'envergure réelle de l'objet, de la longueur focale, de k et de la conversion des unités de mesure.

Seconde équation

Elle exprime simplement le caractère supposé constant de la vitesse à laquelle l'objet se rapproche de l'objectif pendant la durée de la vidéo (sans tenir compte des petits écarts angulaires dans la trajectoire réelle, ni de la partie finale de la trajectoire - qui ne va heureusement pas jusqu'à la collision) :

$$D(t) = D_0 - (Vt / 3600) \quad (2)$$

où $D_0 = D(0)$ représente la distance correspondant à l'instant $t = 0$.

Combinaison

La combinaison des équations (1) et (2) donne :

$$K = L(t) [D_0 - (Vt / 3600)] \quad (3)$$

où D_0 et V sont des paramètres constants inconnus.

Cette même équation peut également s'écrire :

$$L(t) = K / [D_0 - (Vt / 3600)] \quad (4)$$

(4) décrit l'hyperbole sur laquelle sont situés les points de mesure correspondant au zoom maximum.

6. Deux de ces points de mesure correspondant au zoom maximum (marqués en vert sur le graphe) ont été retenus :

- $t = 147 \Rightarrow L(147) = 31 \text{ mm}$
- $t = 266 \Rightarrow L(266) = 86 \text{ mm}$

En introduisant ces valeurs dans l'équation (3), on obtient :

$$31 [D_0 - (147 V / 3600)] = 86 [D_0 - (266 V / 3600)]$$

soit :

$$D_0 = 0,09252 V$$

Si l'on s'intéresse aux valeurs de V proches de la vitesse d'un avion de type C160 ou C130 à basse altitude, on a les correspondances suivantes :

V (Km/h)	D ₀ (Km)
300	27,8
350	32,4
400	37,0
450	41,6
500	46,3

De ce tableau peuvent être dérivées les valeurs des distances réelles entre l'objet et l'objectif correspondant aux deux points de mesure, à l'aide de l'équation (2) :

V (Km/h)	D ₁₄₇ (Km)	D ₂₆₆ (Km)
300	15,6	5,6
350	18,1	6,5

400	20,7	7,4
450	23,2	8,3
500	25,9	9,4

7. L'extrapolation de ce qui précède indique que l'objet devrait théoriquement rencontrer l'objectif à l'instant **t_f = 233 s**. On remarquera que la dernière image au point extraite de la vidéo correspond à t = 235 ms, valeur très proche.

Mais en réalité, en fin de trajectoire, l'objet se dirige nécessairement de moins en moins dans l'axe exact de l'objectif (angle croissant entre sa trajectoire et la ligne de visée), ce qui se traduit par un ralentissement de la vitesse de rapprochement objet-objectif et justifie de moins en moins les approximations de calcul adoptées jusqu'ici.

Il est cependant intéressant d'évaluer la distance de l'objet à l'instant où apparaît la dernière trame bien au point et fortement zoomée (**t = 295 s**), pour la confronter aux déclarations du témoin :

V (Km/h)	D₂₉₅ (Km)
300	3,2
350	3,7
400	4,2
450	4,7
500	5,3

Dans le questionnaire, le témoin déclare :

- Ø que lorsqu'il était au plus près, l'objet se situait toujours à plus de 3 Km de lui
- Ø que l'objet a été observé devant le relais TV visible de chez lui, situé à une distance d'environ 4 Km à vol d'oiseau.

Aux incertitudes de mesure près, toutes ces valeurs sont cohérentes.

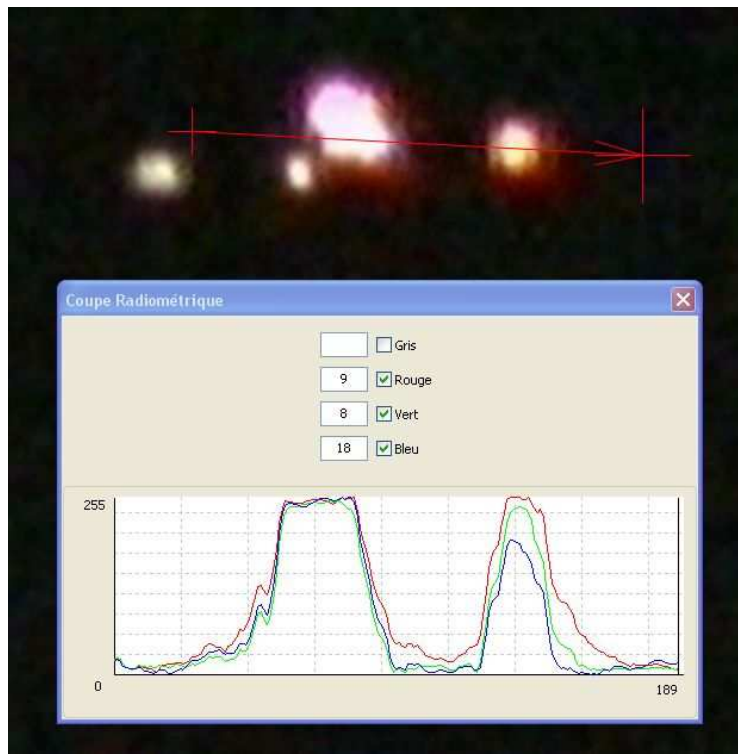
8. Sans pouvoir constituer une preuve formelle, compte tenu du caractère approché des calculs, les résultats obtenus tendent à confirmer la validité de l'explication du témoignage et de la vidéo par un vol d'avion de transport.

En effet, si l'on suppose que la vitesse de l'objet observé est de l'ordre de celle d'un avion C160 ou C130 à basse altitude, soit environ 400 Km/h, on vérifie que :

- La distance parcourue au cours de l'observation filmée est de l'ordre de 40 Km, ce qui est compatible - en ordre de grandeur - avec la distance maximum d'où l'on peut distinguer un phare d'avion la nuit par temps clair.
- La distance minimum entre l'objet et l'objectif est de l'ordre de 4 Km, ce qui correspond bien aux déclarations du témoin.

Analyse des clignotements

Dans la seconde moitié du document vidéo, on distingue un feu rouge qui clignote à la droite de l'écran, comme le montre cette image et la coupe radiométrique du phare central et de ce feu clignotant :



Une mesure effectuée en visionnant la vidéo indique une fréquence de clignotement du feu rouge de 132 éclats par minute (2,2 Hz), ce qui semble a priori trop rapide pour un avion. En effet, après vérification auprès d'un spécialiste de l'aviation militaire anglo-saxonne, la norme pour un feu à éclat (*Stan 00-970*) impose entre 40 et 100 éclats par minute (0,67 à 1,67 Hz) :

Def Stan 00-97

The flash frequency for any single light source shall not be less than 40 cycles per minute. The flash frequency shall not be more than 100 cycles per minute except when the system includes overlaps created by more than one light source. In overlaps, the effective flash frequency shall not exceed 180 cycles per minute. The effective flash frequency is to be established as that frequency at which the aeroplanes complete anti-collision light system is observed from a reasonable distance.

Cependant, cette même norme prévoit la possibilité de coexistence de plusieurs feux à éclat sur un même avion, à condition que la superposition des clignotements n'excède pas une fréquence de 180 éclats par minute, ce qui est le cas ici.

En conséquence, la validité de l'explication de la vidéo par un vol d'avion est plutôt renforcée par l'étude de ce paramètre.

Explication des paliers horizontaux dans le graphe

A l'examen du graphe présenté au début de cette analyse, on peut se demander ce qui explique plusieurs séries de points de mesure dont la valeur reste constante - voire en légère décroissance - pendant plusieurs secondes, indépendamment de la gestion du zoom. En effet, la continuité parfaite de ces petites séquences exclut une modification de zoom, et la première idée qui vient à l'esprit est que l'objet reste immobile au cours de ces séquences.

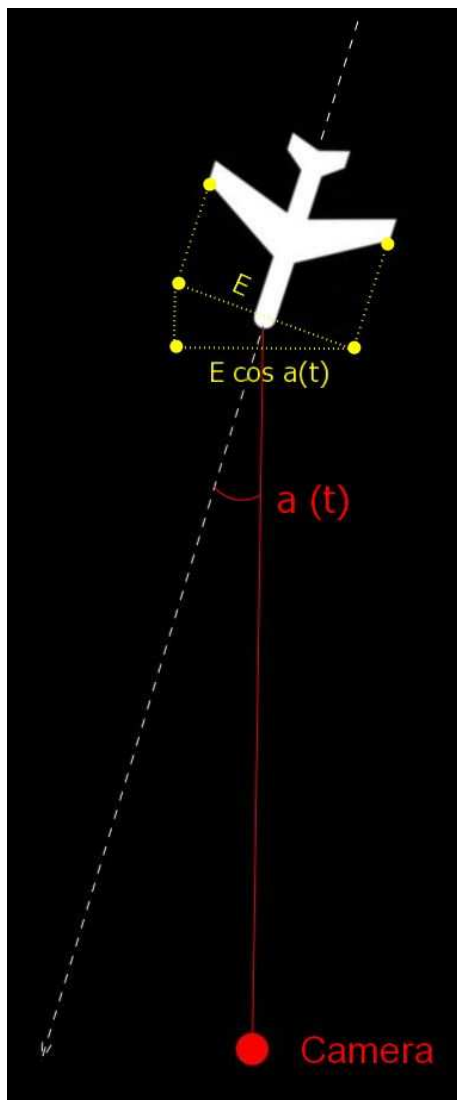
Mais dans l'hypothèse - probable - d'un avion transporteur, la seule explication rationnelle est que cet avion dévie momentanément de sa trajectoire globale (vers le témoin). On peut ainsi imaginer une trajectoire plus ou moins « sinusoïdale », dans le cadre d'un exercice de « ratissage » du sol, la progression globale restant la même, mais avec pour effet une diminution de la vitesse d'approche moyenne. D'ailleurs, le témoin mentionne effectivement des changements de position de l'objet dans le ciel.

Si l'on suppose la trajectoire de l'objet en coïncidence avec l'axe de visée à un instant donné, puis l'amorce d'un virage selon un angle $a(t)$ en projection horizontale, deux effets contraires vont pouvoir s'annuler et provoquer une stagnation - voire une légère diminution - de l'envergure apparente mesurée sur écran $L(t)$ pendant quelques secondes :

- Augmentation de $L(t)$ due au rapprochement de l'objectif à une vitesse apparente $V(t) = V_0 \cos [a(t)]$, inférieure à la vitesse propre de l'avion V_0
- Diminution de $L(t)$ due à la diminution de l'envergure présentée à la caméra $E(t)$ au fur et à mesure que $a(t)$ croît, selon la formule :

$$E(t) = E_0 \times \cos [a(t)]$$

où E_0 est l'envergure réelle de l'objet.



Afin d'analyser le mouvement correspondant à une séquence où $L(t)$ reste constant, on peut repartir de l'équation initiale :

$$E = k D L / f$$

Dans laquelle, cette fois :

- L'envergure E devient $E(t)$, envergure transversale variant en fonction du temps :

$$E(t) = E_0 \cos [a(t)]$$

où E_0 est l'envergure réelle

- $D(t)$ est toujours égal à :

$$D(t) = D_0 - (V t / 3600)$$

mais cette fois avec V qui varie en fonction du temps :

$$V(t) = V_0 \cos [a(t)]$$

où V_0 est la vitesse réelle de l'objet

- $L(t)$ reste constant par hypothèse :

$$L(t) = L_0$$

La combinaison des équations précédente donne :

$$\cos [a(t)] = A / (1 + B t)$$

avec deux constantes :

$$A = k D_0 L_0 / f E_0$$

$$B = k V_0 L_0 / 3600 f E_0$$

On en déduit la fonction qui régit le mouvement de rotation $a(t)$ de l'objet au cours d'une telle séquence :

$$\mathbf{a(t) = \arccos [A / (1 + B t)]}$$

Conclusion

La vidéo analysée montre un objet ayant l'apparence d'un avion qui s'approche à basse altitude, tous feux allumés, évoquant l'hypothèse d'un transporteur de type Transall ou Hercules en exercice de nuit, tous feux allumés.

Sans parvenir à établir une preuve absolue de la véracité de cette hypothèse, l'analyse a montré à l'aide de mesures effectuées sur la vidéo, qu'elle était totalement compatible avec tous les éléments observés et mesurés. Cette hypothèse constitue donc une explication rationnelle du document vidéo analysé.

Il semble donc raisonnable de classer ce dossier dans la catégorie A ou B, en fonction de l'importance accordée aux éléments du dossier autres que la vidéo.

Cette analyse a été réalisée à l'aide du logiciel spécialisé du CNES/GEIPAN : IPACO.