ANALYSE DES PHOTOGRAPHIES D' "O.V.N.I."

F. LOUANGE

ANALYSE des PHOTOGRAPHIES

d' "O.V.N.I."

F. LOUANGE, Ingénieur-Conseil
Commande CNES n°2/84/3251/824

22 Octobre 1984

SOMMAIRE

	Page
I - PRESENTATION DU PROBLEME	1
I.1 - Photographies d'"OVNI"	1
I.2 - Etapes de l'analyse	2
I.3 - Données utiles	4
II - PHYSIQUE DE BASE ASSOCIEE AU PROBLEME	7
II.1 - Optique géométrique	7
II.2 - Photométrie	9
II.3 - Propagation atmosphérique	12
II.4 - Photographie	14
II.5 - Effets parasites	19
III - MOYENS D'ANALYSE	24
III.1 - Examen du négatif	24
III.2 - Procédés photographiques	26
III.3 - Mesures densitométriques	28
III.4 - Numérisation	29
IV - TRAITEMENT NUMERIQUE D'IMAGES	31
IV.1 - Présentation des techniques	31
IV.2 - Détection des supercheries	43
IV.3 - Analyse des clichés	45

V - PROCEDURES D'ANALYSE DES CLICHES 47
V.1 - Recueil d'informations 47
V.2 - Examen et numérisation du négatif 49
V.3 - Analyse géométrique 50
V.4 - Analyse photométrique 51
V.5 - Autres supports 56

VI - EXEMPLE : LES CLICHES DE T 58
VI.1 - Géométrie d'ensemble 63
VI.2 - Photométrie 66
VI.3 - Fils électriques 67
VI.4 - Flou de bougé 68
VI.5 - Lumière émise 69
VI.6 - Loi d'illumination 70
VI.7 - Explication finale 71

ANNEXES 73
1 - Photographie nocturne type 73
2 - Les deux lunes de Barcelone 74
3 - Effet d'optique à Marseille 77
4 - "Star effect" à Madrid 79
5 - Un satellite naturel 83
6 - Maquette suspendue 85

REFERENCES 89

I - PRESENTATION DU PROBLEME

I.1 - Photographies d'"OVNI"

Parmi les différentes investigations conduites sur le thème des Phénomènes Aérospatiaux Non-identifiés, l'analyse des photographies présumées d'OVNIs est certainement l'un des domaines les plus délicats. En effet, aux yeux du grand public les photographies constituent souvent la seule forme de preuve indiscutable de "l'existence des OVNIs", ce qui leur confère un poids tout particulier.

Le domaine photographique est également celui où l'on rencontre le plus de supercheries, car il est aisé pour un spécialiste de fabriquer un document truqué résistant relativement bien à l'analyse, et cela se révèle même parfois lucratif (on rencontre dans les microcosmes ufologiques de certains pays un véritable marché des photos de soucoupes volantes). Par ailleurs, il existe de nombreux effets naturels ou photographiques qui sont à l'origine de "faux OVNIs". Des effets d'optique peuvent créer de véritables mirages de la même façon que, dans un autre domaine, diverses anomalies de propagation engendrent des échos parasites sur les écrans des radars.

L'expérience montre que la plupart des clichés qui résistent à l'analyse sont porteurs d'une information extrêmement pauvre et généralement inexploitable. Il s'agit typiquement, comme l'illustre l'Annexe 1, d'une tache lumineuse saturée sur fond noir, sans aucun point de repère.
Il faut rappeler à ce propos que, dans la plupart des cas, un bon témoignage est plus fiable et contient davantage d'information qu'une photographie

non documentée. Cependant lorsqu'un ou plusieurs clichés sont disponibles (avec toutes les données techniques requises) en même temps qu'un témoignage, ils peuvent se révéler extrêmement précieux en permettant la confirmation quantitative d'éléments du témoignage et l'extraction d'informations supplémentaires sur le phénomène observé.

Depuis une trentaine d'années des photographies présumées d'OVNIs, parfois célèbres dans les milieux ufologiques, font épisodiquement l'objet d'expertises de la part de scientifiques ou de techniciens intéressés par ce thème. Les domaines de la physique et de la technique mis en jeu sont très divers, depuis les lois de propagation de la lumière dans l'atmosphère jusqu'à l'informatique spécialisée. Ce document en présente une synthèse et propose un ensemble de procédures à suivre pour l'analyse des clichés, illustrées par le traitement détaillé d'un cas concrêt.

I.2 - Etapes de l'analyse

Si le phénomène ou l'objet que montre une photographie n'a pu être identifié après un premier examen visuel (astre, ballon, phare, nuage, etc..), l'analyse qu'il convient d'entreprendre s'organise en deux étapes.

Etape n°1 :

Elle consiste à établir ou rejeter l'authenticité du cliché, en mettant en évidence les supercheries et les fausses manoeuvres involontaires aussi bien que les divers phénomènes parasites pouvant affecter l'optique de l'appareil photo ou le film.

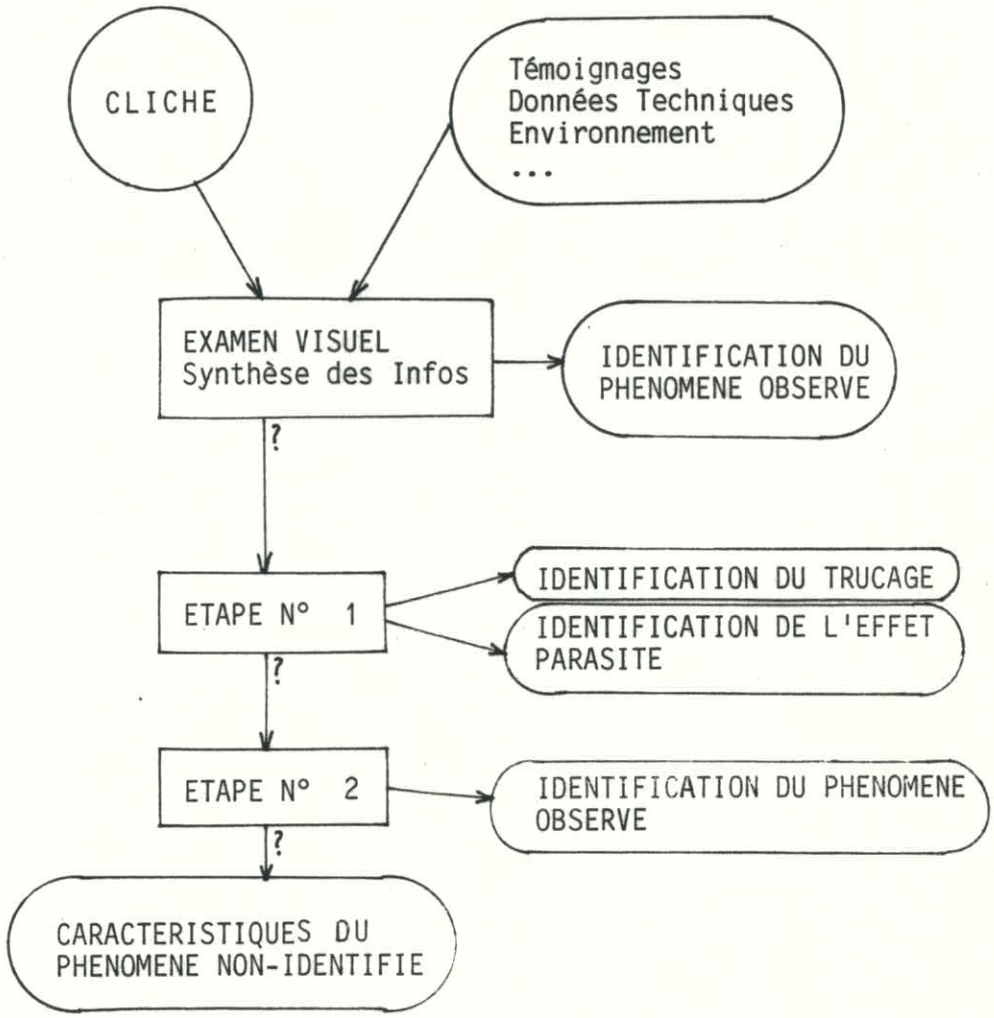
Il faut souligner que cette notion d'authenticité est toute relative, car dans ce domaine seules des conclusions négatives peuvent être considérées comme définitives. En d'autres termes, s'il est parfois possible de prouver qu'une photographie donnée résulte d'un trucage ou d'un effet parasite, l'authenticité ne peut jamais être absolument démontrée ; dans le meilleur des cas, un cliché "résistera" à toutes les analyses dont il aura fait l'objet.

Etape n° 2 :

Elle n'a de sens que si l'étape précédente a conduit à considérer la photo comme authentique (jusqu'à nouvel ordre) et consiste alors à en extraire un maximum d'informations. Celles-ci serviront à identifier le phénomène photographié, si cela est possible, ou à le caractériser dans le cas contraire (taille, distance, albedo, énergie émise, etc...).

Chacune de ces deux étapes peut, selon les cas, faire appel aux différents moyens d'analyse présentés au Chapitre III, ainsi qu'aux techniques numériques de traitement d'images qui font l'objet du Chapitre IV.

La logique d'une analyse de cliché peut être schématisée de la façon suivante :



I.3 - Données utiles

L'utilisation exacte, selon les cas, de tel ou tel type de données fera l'objet des chapitres suivants. Ce paragraphe présente, par catégories, la liste des informations susceptibles d'être requises pour l'analyse d'un cliché, en dehors des témoignages eux-mêmes

SITE :

- repérage des lieux observés sur le cliché (in situ ou sur carte)

- géométrie des éléments de paysage photographiés (distances, hauteurs)
- position et attitude de l'appareil photo sur le terrain.

CONDITIONS DE PRISE DE VUE :

- date et heure
- conditions météorologiques (notamment : nébulosité et visibilité).

APPAREIL PHOTO :

- marque et type
- focale
- composition de l'optique (nombre d'éléments)
- caractéristiques de transmission (transmittance, FTM).

REGLAGES :

- temps de pose
- nombre d'ouverture
- distance de mise au point.

FILM :

- marque et type de film
- sensibilité (en ASA)
- limite de résolution (en traits/mm) ou FTM.

DEVELOPPEMENT :

- courbe de H & D correspondant aux conditions réelles de développement.

En ce qui concerne le matériel, il va de soi que l'idéal consiste à disposer de la "chaîne optique" complète (appareil photo chargé, avec encore des clichés à prendre), ce qui permet d'effectuer des calibrations sur le film à analyser lui-même. Ce cas est très rare, mais il est déjà intéressant de disposer à la fois de l'appareil photo et du négatif original développé.

L'analyse de tirages sur papier ou de copies du négatif original est beaucoup moins fiable que celle d'un négatif original, en raison notamment de l'impossibilité de déceler d'éventuels défauts physiques ou chimiques au niveau de l'émulsion.
Il est donc très important de se procurer le négatif original pour réaliser l'analyse approfondie d'un cliché.

Sauf mention contraire, la suite de ce document traitera le cas de photographies en noir et blanc. L'analyse de documents d'autres natures fera spécifiquement l'objet du paragraphe V.5.

II - PHYSIQUE DE BASE ASSOCIEE AU PROBLEME

Les différents domaines concernés par l'analyse des clichés sont passés en revue dans ce chapitre, en ne présentant que ce qui est directement et concrètement applicable au sujet. Quelques références sont fournies, pour permettre une étude plus approfondie dans des ouvrages spécialisés.

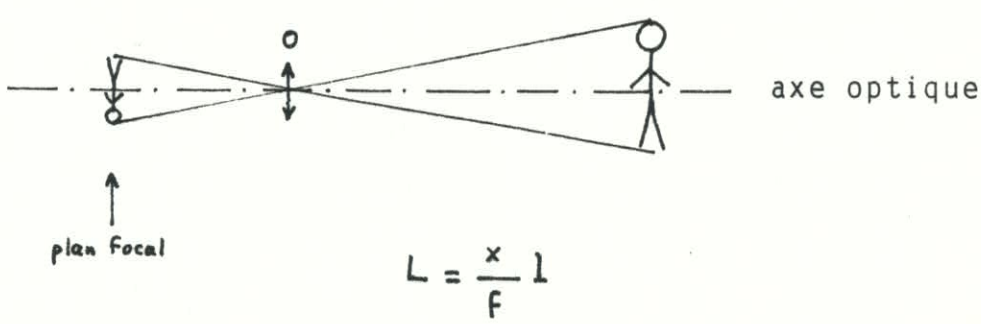
II.1 - Optique géométrique

Lorsqu'une photographie présumée d'OVNI représente un phénomène ou un objet réel, la distance entre ce dernier et l'objectif est généralement très supérieure à la focale de l'objectif. On est donc dans les conditions d'application d'une représentation simplifiée dans laquelle :

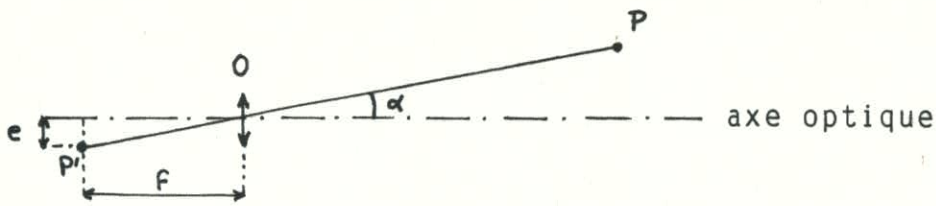
- l'objectif O est assimilé à une simple lentille, de surface égale à celle de la pupille.

- le film est situé dans le plan focal.

Pour un objet situé dans un plan parallèle au plan focal et au voisinage de l'axe optique, on vérifie donc la relation directe suivante entre sa longueur réelle L, la longueur l de son image mesurée sur le film, sa distance x à l'objectif et la focale f :



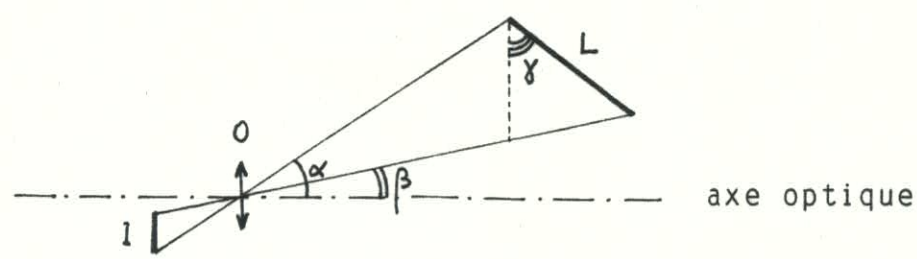
L'écart angulaire α entre un point P du paysage et l'axe optique se déduit simplement d'une mesure sur le film :



Si e est la distance, sur le film, entre le point P' image de P et l'image du centre optique, on a :

$$\alpha = \text{Arctg}\left(\frac{e}{f}\right)$$

Le problème que pose le calcul de la longueur L d'un segment quelconque dans un plan passant par l'axe optique est illustré par le schéma suivant :



Le calcul de L peut s'effectuer à partir des longueurs l et f et des angles α, β, γ. Les angles α et β se calculent aisément comme indiqué précédemment, tandis que l'estimation de γ nécessite d'autres considérations géométriques propres à la scène photographiée.

On trouvera au paragraphe VI.1 un exemple de calcul géométrique plus complexe appliqué à un cas concrêt où les objets étudiés sont coplanaires.

Si plusieurs clichés montrant les mêmes objets sont disponibles, il est possible de reconstituer certains éléments d'information à l'aide de recoupements géométriques. Un bon exemple est donné par l'analyse présentée par C. POHER sur les célèbres clichés de Mc MINVILLE (1) : par recoupement, il est démontré que l'objet photographié de plusieurs endroits était exactement à l'aplomb d'un câble électrique (auquel il était vraisemblablement suspendu). Deux autres exemples font l'objet des références (2) et (3).

Dans le même ordre d'idées, l'étude de la trajectoire d'un mobile à partir d'un film (cinéma) ou d'un enregistrement vidéo constitue un cas particulier d'analyse fondée sur la géométrie.

II.2 - Photométrie

Il est indispensable, pour la clarté de la suite, de rappeler un certain nombre de définitions relatives à l'émission et à la réception de lumière (4) :

. Flux lumineux F (en Lumen) :
homogène à une puissance. Additif.

. Eclairement E d'un élément de surface (en Lux ou Lumen/m2) :
homogène à une puissance reçue par unité de surface. Additif.

. Emittance M d'un élément de surface (en Lumen/m2) :
homogène à une puissance émise dans toutes les directions par unité de surface.

. Intensité I d'une source ponctuelle dans une direction (en Candela ou Lumen/stér.) :
homogène à une puissance émise par unité d'angle solide dans cette direction.

. Luminance L d'un élément de surface dans une direction (en Candela/m2) :
homogène à une puissance émise par unité de surface et par unité d'angle solide dans cette direction.

. Transmittance T d'une couche soumise à un flux :
T = Flux transmis/Flux incident

. Réflectance R d'une couche soumise à un flux :
R = Flux réfléchi/Flux incident

. Densité optique d'une couche traversée par un flux :
$d = - \log T$

. Albedo R d'un corps non lumineux : fraction du flux reçu diffusé par ce corps.
(corps blanc : R = 1, corps noir : R = 0)

. Exposition ou lumination E d'un élément de surface (en Lux-secondes) :
quantité totale de radiation reçue.

Toutes ces grandeurs sont définies pour un rayonnement donné, caractérisé par son spectre. La correspondance entre Lumen et Watt dépend, pour chaque longueur d'onde, de l'efficacité lumineuse du rayonnement.

On vérifie les relations suivantes entre les grandeurs définies précédemment :

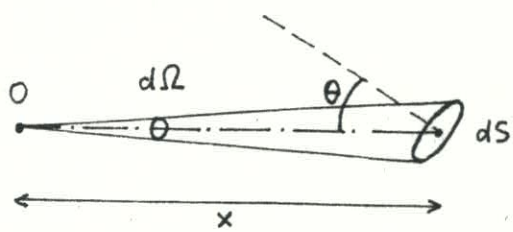
- Flux lumineux reçu par une surface S soumise à un éclairement E :

$$F = SE$$

- Pour une surface ni lumineuse ni luminescente :

$$M \leqslant E$$

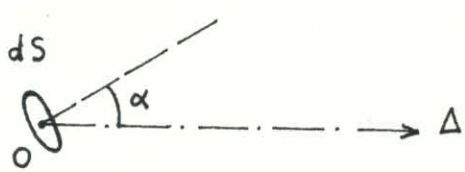
- Eclairement produit par une source lumineuse O sur un élément de surface dS distant de x :



$$I = \frac{dF}{d\Omega}$$

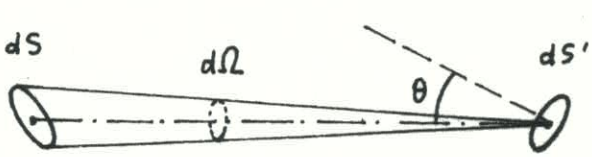
$$\boxed{E = \frac{I \cos\theta}{x^2}}$$

- Luminance dans la direction Δ d'un élément de source dS d'intensité I :



$$L = \frac{dI}{dS \cos\alpha}$$

- Eclairement sur un élément de surface dS' par un élément de surface dS de luminance L :



$$\boxed{dE = L \cos\theta \, d\Omega}$$

- Une source est dite Lambertienne si sa luminance est constante dans toutes les directions d'émission. Elle vérifie alors :

$$\boxed{M = \pi L}$$

II.3 - Propagation atmosphérique

La propagation d'un flux lumineux à travers l'atmosphère est soumise, pour chaque longueur d'onde, à une atténuation due à l'absorption par les molécules d'air et exprimée par la loi de Bouguer :

$$F = F_0 \, 10^{-\alpha x} \quad \text{avec} \quad \begin{cases} \alpha = \text{coefficient d'extinction} \\ x = \text{épaisseur traversée} \end{cases}$$

Le coefficient α dépend des conditions météorologiques et de la longueur d'onde, et la quantité αx représente la densité optique de l'épaisseur d'atmosphère considérée.

Des ouvrages sur l'absorption et la diffusion des radiations lumineuses dans l'atmosphère (5) (6) on peut extraire quelques formules pratiques correspondant à deux types de clichés.

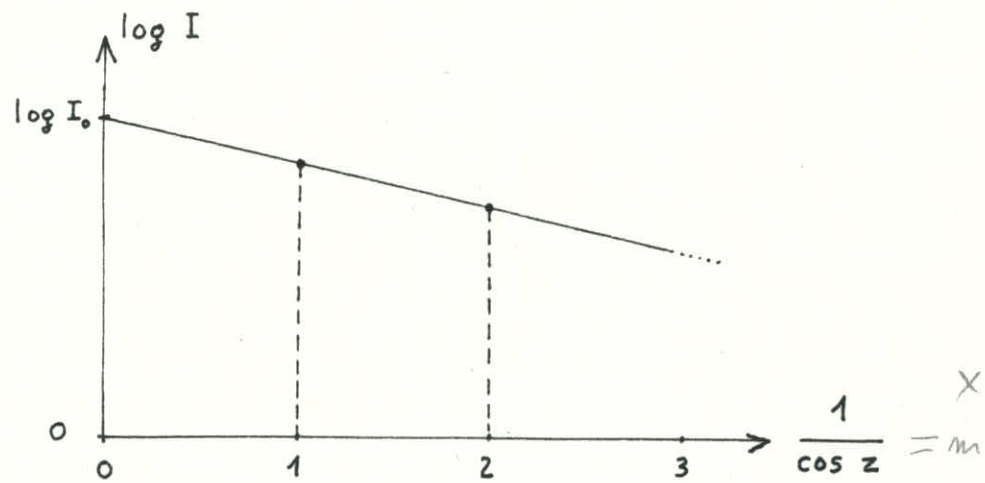
Sources lumineuses situées au-delà de l'atmosphère :

c'est le cas notamment des objets astronomiques observés de nuit. L'atmosphère intervient alors dans toute son épaisseur, qui ne dépend que de la distance zénitale z de la source :

$$\cos z = \cos\delta \cos\lambda \cos H + \sin\delta \sin\lambda$$

avec : $\begin{cases} \delta = \text{déclinaison de la source} \\ H = \text{angle horaire de la source} \\ \lambda = \text{latitude du lieu d'observation.} \end{cases}$

L'intensité de la source varie en fonction de z selon une "droite de Bouguer", qui fournit directement la densité optique de l'atmosphère :



$\begin{cases} \text{pour } m = 1 \ : \ I \text{ au zénit} \\ \text{pour } m = 0 \ : \ I_0 \text{ en dehors de l'atmosphère} \end{cases}$

L'expérience montre que l'intégration sur une plage de longueurs d'ondes n'induit qu'une faible erreur.

<u>Objets dans la basse atmosphère</u> :

c'est le cas général pour les photographies diurnes. La luminance apparente L' d'un objet situé à la distance x de l'observateur s'exprime en fonction de sa luminance propre L et de la luminance L_H du ciel à l'horizon ($x \rightarrow \infty$) par la relation :

$$\boxed{L' = 10^{-\alpha x} L + (1-10^{-\alpha x}) L_H}$$

où . le premier terme représente l'extinction de la lumière issue de l'objet,
. le second terme représente la contribution de la diffusion atmosphérique

Dans le cas d'un objet noir, la formule se simplifie et devient :

$$L' = (1-10^{-\alpha x})\, L_H$$

Dans le cas d'un objet gris d'albedo R disposé verticalement, on vérifie l'égalité suivante, à condition que le ciel soit uniformément couvert :

$$L = R\frac{L_H}{2} \text{ ,soit :}$$

$$\boxed{L' = [1 - (1 - \frac{R}{2})10^{-\alpha x}]\; L_H}$$

Un autre effet de la propagation de la lumière à travers l'atmosphère, causé par la diffusion, est que les contours et d'une façon générale les lignes de discontinuité apparaissent d'autant plus flous que l'observateur est plus éloigné de l'objet. La couche d'atmosphère traversée est à cet égard caractérisée par sa FTM (Fonction de Transfert de Modulation). La notion de FTM sera explicitée au paragraphe IV.1.1.

II.4 - Photographie

II.4.1 - Réglages

Etant donné un appareil photo muni d'un objectif de

longueur focale f (variable s'il s'agit d'un zoom), les trois réglages à effectuer pour prendre un cliché sont (7) :

- Mise au point (focalisation) sur un élément du paysage, caractérisé par la distance le séparant de l'objectif, le long de l'axe optique.

- Choix de l'ouverture o (pupille d'entrée masquée par un diaphragme) à l'aide du "nombre d'ouverture" n défini par $n = f / o$ et correspondant à des graduations prédéfinies.

- Temps de pose t.

Dans les appareils les plus simples, ces réglages sont limités (2 positions par exemple) voire supprimés si tout est préréglé.

Des deux premiers réglages dépend la "profondeur de champ", définie comme l'épaisseur, comptée suivant l'axe optique, de la région comprise autour de l'élément de paysage sur lequel a été effectuée la focalisation, et dans laquelle la netteté de l'image est acceptable. Il faut retenir que :

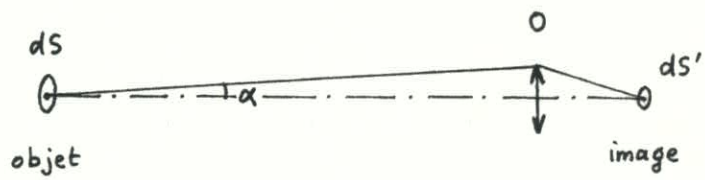
- Plus la mise au point est faite sur un objet éloigné, plus la profondeur de champ est grande.

- Plus l'ouverture o est petite (donc le nombre d'ouverture n grand), plus la profondeur de champ est grande.

II.4.2 - Eclairement des images

Un élément d'objet normal à l'axe optique et voisin de celui-ci, de surface dS et de luminance L, envoie sur la pupille d'entrée un flux lumineux :

$$dF = \pi \alpha^2 L dS$$



L'éclairement E de l'élément d'image correspondant dS' est approximativement :

$$E \approx \frac{\pi}{4} T \frac{L}{n^2}$$

si T est la transmittance de l'objectif.

On montre que pour un élément d'objet situé dans une direction faisant un angle θ avec l'axe optique, l'éclairement de l'élément d'image correspondant est donné par :

$$\boxed{E \approx \frac{\pi}{4} T \frac{L}{n^2} \cos^4 \theta}$$

II.4.3 - Densité optique du film

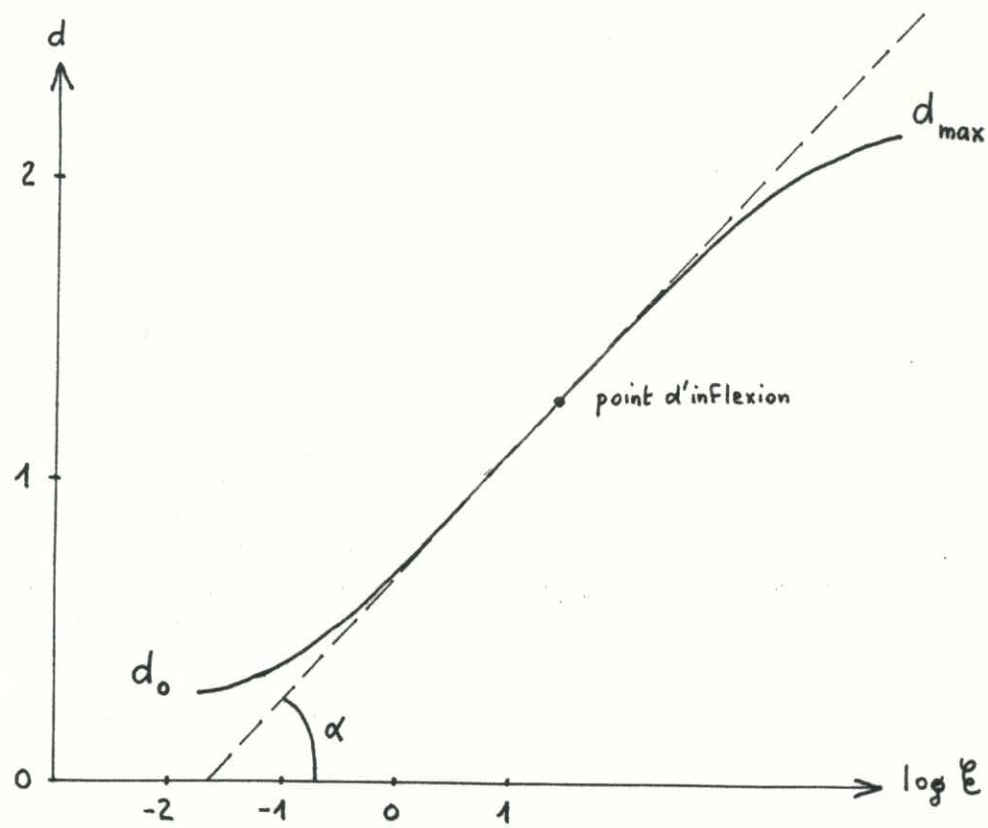
Le film est soumis, dans le plan focal, à une lumination $\mathcal{E}$ égale pour chaque point au produit de l'éclairement par le temps de pose :

$$\boxed{\mathcal{E} = E\,t}$$

Cette lumination étant donc proportionnelle à t/n^2, on voit qu'un même résultat peut théoriquement être atteint pour diverses combinaisons du nombre d'ouverture n et du temps de pose t, ce qui permet de faire varier notamment la profondeur de champ. Ceci traduit la "loi de réciprocité", qui n'est en fait plus vérifiée pour les très longs temps de pose.

Une émulsion photographique (noir et blanc) et son traitement sont caractérisés par une courbe, dite de Hurter et Driffield (ou H & D), définissant la "relation de noircissement", et liant la lumination $\mathcal{E}$ à la densité optique du film d qui en résulte :

$$d = f(\log \mathcal{E})$$



Les 3 paramètres les plus importants que l'on déduit de cette courbe sont :

- Le contraste photographique, ou gamma, défini par la pente de la courbe en son point d'inflexion :

$$\gamma = \mathrm{tg}\,\alpha \qquad (\text{généralement : } \gamma \approx 1)$$

- Le voile d_o, égal à la densité du film en l'absence d'exposition.

- La sensibilité du film définie par l'exposition nécessaire pour obtenir une densité égale à $d_o + 1$ dans des conditions bien précises de traitement.

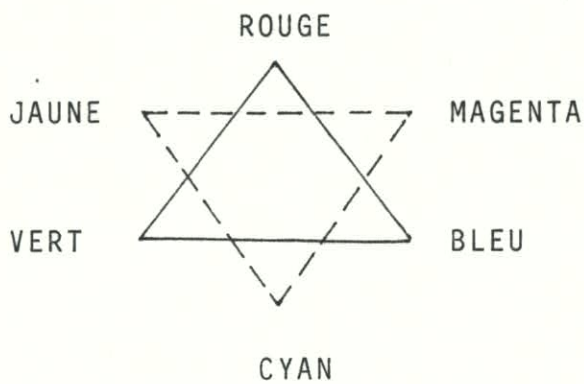
Pour un film donné, on peut faire varier la relation de noircissement en jouant sur le traitement, et notamment sur le temps de développement. La réduction de ce temps a pour effet de réduire le contraste, le voile et la densité maximale d_{max}.

L'objectif photographique d'une part, le film et son traitement d'autre part, sont caractérisés, en ce qui concerne la reproduction des contrastes, par des courbes de FTM qui se combinent par multiplication. La transmittance représente la valeur de la FTM pour un niveau constant (fréquence spatiale nulle). Les fabricants de films fournissent au minimum une "limite de résolution" exprimée en nombre de traits par millimètre. La taille des grains de l'émulsion, qui fixe cette limite, est couramment de l'ordre de la dizaine de microns.

La sensibilité spectrale des émulsions, qui varie d'un type à l'autre, est la plupart du temps différente de celle de l'oeil humain. Ceci explique les

différences d'aspect qui peuvent exister entre ce qui est observé et ce qui apparaît sur le cliché corpondant.

Dans le cas de la photographie en couleur, le principe de base est celui de l'additivité : trois couches sensibles sont traversées par la lumière incidente, chacune ayant une réponse spectrale particulière. Le résultat est soit un négatif où le codage des couleurs est propre au fabricant, la luminance globale étant conservée, soit une diapositive restituant les couleurs d'origine. L'analyse peut être conduite en 3 étapes à l'aide de filtres permettant la sélection des couleurs de base ou de leurs complémentaires :



De véritables analyses colorimétriques ne peuvent être entreprises sur un cliché que si toutes les données techniques ont pu être rassemblées.

II.5 - Effets parasites

II.5.1 - Effets extérieurs au capteur optique

Bien que le propos de ce document ne soit pas de pas-

ser en revue les phénomènes susceptibles de susciter des "témoignages OVNI", nous rappellerons brièvement quelques effets particuliers conduisant à l'observation de sources lumineuses inhabituelles dans le ciel nocturne :

- Phares d'automobiles, d'avions ou d'hélicoptères, feux de position divers (haut des mâts de voiliers, pylônes), etc...

- Etoiles, planètes, lune (éventuellement masquée en partie par des nuages), météores,...

- Ballons météorologiques ou autres, dont certains peuvent avoir des formes très surprenantes, notamment lorsqu'ils sont crevés et planent en retombant.

- Réflexion dans l'atmosphère de sources conventionnelles, comme des phares ou des rayons laser publicitaires. Cela s'observe typiquement au-dessous d'une couche nuageuse.

- Effet de lentille atmosphérique : dans certains cas la configuration des couches atmosphériques provoque localement un effet de lentille. Si un astre ou une planète se trouve dans cette région du ciel, il peut apparaître démesurément grand pendant quelques instants.

- De même, si l'atmosphère est agitée, on observe parfois en fixant une étoile un effet de diffraction aléatoire ou périodique, qui la fait changer de couleur apparente au cours du temps (aspect de clignotement vert et rouge, par exemple).

II.5.2 - Effets liés à l'optique

Exposition multiple :

celle-ci peut être réalisée volontairement, dans un but de trucage, ou involontairement par oubli d'une manoeuvre.

De nombreux appareils photo rendent impossible, par construction, les expositions multiples, et c'est la première chose à vérifier lorsqu'il existe un doute.

Par ailleurs, l'observation du négatif original au microscope permet parfois de lever le doute, comme il sera expliqué au paragraphe III.1.4.

Réflexions dans l'optique :

celles-ci peuvent se produire lorsque le nombre d'éléments du bloc optique de l'objectif est pair. A côté d'une source lumineuse apparaît alors une autre source fantôme (ou plusieurs, en alignement symétrique par rapport à la source réelle). Le contour de ces sources fantômes laisse apparaître la forme polygonale du diaphragme dans le cas général.

L'analyse d'un cas de réflexion de ce type, qui s'est révélé difficile à mettre en évidence, est présentée en Annexe 2.

Fuites de lumières :

dans les milieux ufologiques, on voit circuler de nombreuses photographies nocturnes montrant une ou plusieurs lignes courbes parallèles, continues ou en tiretés, assorties d'angles vifs et de points plus brillants. Ces effets sont obtenus chaque fois que

l'obturateur se ferme mal et laisse passer de la lumière. Les courbes observées ne représentent alors que les mouvements plus ou moins saccadés du photographe, lorsqu'il croit avoir terminé son cliché. Les courbes en tiretés correspondent, quant à elles, à des lampes ordinaires alimentées en courant alternatif (50 ou 60 Hz selon le pays), et permettent s'il en est besoin d'évaluer la vitesse angulaire du mouvement de l'opérateur.

On trouvera un bon exemple de ce type de photographie et de son analyse dans les références (8) et (9).

Effets d'optique complexes :

certains clichés font apparaître des formes lumineuses extrêmement complexes qui rappellent de toute évidence des familles de courbes mathématiques appelées caustiques, que l'on observe parfois au fond d' d'un bol ou d'une tasse. Il s'agit alors de réflexions complexes dans les composants de l'appareil photo.

Un exemple d'effet d'optique relativement complexe, dont on n'a pas pu déterminer s'il était externe ou interne à l'appareil photo, est présenté en Annexe 3.

Défaut de propreté :

La présence excessive de poussières ou de traces de gras sur l'objectif peut induire des dégradations notables dans les clichés.

II.5.3 - Effets liés au film

L'émulsion d'un film peut parfois présenter un défaut

de fabrication qui se traduit par l'apparition, après développement, de petites formes claires circulaires ou elliptiques. Celles-ci correspondent à la migration des grains de l'émulsion. On trouvera des illustrations de ce phénomène dans les références (10) et (11).

Il arrive plus fréquemment que des défauts de cette nature aient pour origine une erreur de manipulation au cours du traitement. Il peut s'agir d'une traînée laissée par un produit chimique si le rinçage est insuffisant (effet "comète"), ou des conséquences d'un choc mécanique sur l'émulsion en cours de traitement. On trouvera en Annexe 4 le détail d'un cas traité par l'auteur, qui illustre de façon surprenante ce que les Anglo-saxons appellent "star effect" :

> Si du fixateur commence à diffuser dans l'émulsion par un point où celle-ci a reçu un choc, et si le rinçage n'est pas suffisant pour l'éliminer, on aboutit après séchage à des taches aux formes quelconques, s'étalant en étoile autour du défaut.

Plus prosaïquement, un manque d'attention ou de propreté de la part du manipulateur peut entraîner la fixation de poussières, d'empreintes digitales, de taches de gras, etc...

Seule une inspection minutieuse du négatif original, à la loupe ou au microscope, permet de se faire une idée exacte de son intégrité mécanique et chimique.

III - MOYENS D'ANALYSE

Etant donnée une photographie présumée d'OVNI que l'on décide d'analyser, il existe plusieurs moyens d'examen et de mesure permettant de qualifier et de quantifier le phénomène observé. Ce chapitre présente les différentes voies possibles pour saisir l'information contenue dans le cliché.

III.1 - Examen du négatif

L'examen direct du négatif original, qu'on évitera autant que possible de séparer du rouleau de film auquel il appartient, peut apporter des informations très importantes dans plusieurs domaines.

III.1.1 - Informations auxiliaires

Les négatifs (ou les diapositives) comportent des informations écrites, incrustées en bord de film, qui sont impossibles à falsifier. On trouve parfois la marque du film, et toujours une numérotation séquentielle des clichés. Celle-ci peut être utilisée dans la reconstitution chronologique des évènements, notamment si plusieurs photos obtenues par des voies différentes s'avèrent issues d'un même rouleau de film. L'auteur a eu l'occasion, à Madrid, de débrouiller une affaire de photographies supposées d'OVNI (qui ne montraient en fait probablement que des phares d'hélicoptères) en prouvant que la succession d'évènements et de photos alléguée par le témoin était en contradiction avec la numérotation des clichés.

Dans le même ordre d'idées, certaines diapositives sont fournies dans des cadres de carton qui sont très fortement collés, et où la date de traitement apparaît en relief. Cette date, gravée automatiquement par une machine, ne peut être falsifiée et il est quasiment impossible de décoller le cadre en carton sans l'endommager définitivement.

III.1.2 - Retouches

Il est évident que si la photo est truquée au moyen de retouches effectuées sur le film (peinture, encre, grattage, ...), un examen minutieux de celui-ci ne laissera aucun doute sur la nature de l'OVNI. Il en serait de même dans le cas d'un montage photographique, en admettant que l'on puisse encore parler de négatif original ...

III.1.3 - Défauts

L'existence de défauts tels que ceux évoqués au paragraphe II.5.3. peut être plus ou moins facile à mettre en évidence. Selon les cas, une loupe, un microscope ou des conditions particulières d'éclairement seront requis.

L'Annexe 4 présente un exemple très représentatif de la difficulté que l'on peut rencontrer pour déceler un petit "accroc" fait accidentellement au film. Dans ce cas, il a fallu un examen au microscope du négatif sous lumière rasante polarisée pour trouver l'explication définitive.

III.1.4 - Examen du grain

L'examen au microscope des grains de l'émulsion peut fournir des indications utiles sur les conditions d'exposition et de développement. En particulier, la taille et la distribution des grains permet parfois de mettre en évidence les expositions multiples : dans les zones exposées plusieurs fois, les grains se sont regroupés et apparaissent nettement plus gros qu'aux endroits exposés normalement une seule fois.

III.2 - Procédés photographiques

Beaucoup de dossiers peuvent être traités à l'aide de moyens photographiques conventionnels. A partir d'un négatif (ou d'une diapositive), on peut effectuer les travaux suivants.

III.2.1 - Projection sur écran

La projection sur écran dans des conditions géométriques bien contrôlées permet non seulement l'observation de détails à l'oeil nu, mais aussi des mesures de tailles et de distances angulaires, en relatif ou en absolu (si les caractéristiques de l'appareil photo sont connues). C'est ainsi qu'a pu être étudiée en détail une célèbre photo d'Orégon (12) (13).

La projection s'impose lorsque le matériau à analyser est un film (cinéma). Il est alors indispensable de disposer d'un projecteur permettant l'arrêt sur image.

III.2.2 - Tirages sur papier

L'interprétation visuelle d'un négatif n'est pas toujours aisée, et il est souvent utile d'effectuer des tirages sur papier de bonne qualité. Deux buts essentiels peuvent être poursuivis, indépendamment ou simultanément :

- Agrandir : un fort agrandissement fait dans de bonnes conditions permet d'apprécier les détails d'un cliché.

- Modifier le contraste : en jouant sur le type de papier utilisé et sur les conditions de tirage (notamment le temps de révélation), on peut modifier considérablement l'aspect du cliché.

  Une variante consiste à réaliser d'abord un inter-négatif sur un film très contrasté, puis le tirage final sur papier.
  Le cas présenté en Annexe 4 a fait l'objet de nombreux agrandissements avec différents contrastes avant d'être élucidé. Cette technique permet notamment de s'affranchir des halos qui entourent parfois les sources lumineuses (14).

Une technique particulière très efficace peut être mise en oeuvre pour mettre en relief les contours : après avoir tiré un agrandissement positif du cliché original sur papier transparent, on réalise un négatif par contact sur une autre feuille du même papier transparent. En superposant ces deux transparents et en les décalant un petit peu (par tâtonnement), on fait ressortir les contours, de façon très nette, et on peut effectuer un tirage sur papier de l'ensemble. Le résultat est comparable à celui des techniques nu-

mériques de renforcement des contours. Des illustrations de cette technique sont présentées dans les Annexes 2 et 3.

III.2.3 - Photographies en couleur

Les diapositives sont prêtes à être projetées, et comportent (en principe) les couleurs naturelles. Les négatifs destinés au tirage sur papier comportent des couleurs "codées" artificiellement, en fonction des émulsions du fabricant. Dans tous les cas, des agrandissements en noir et blanc sont possibles à condition d'utiliser un papier panchromatique, puisque l'information de luminance est globalement conservée.

L'utilisation de filtres est également envisageable pour des travaux particuliers visant à faire ressortir ou au contraire à occulter telle ou telle couleur.

III.3 - Mesures densitométriques

Pour effectuer l'analyse photométrique d'un cliché, il faut pouvoir mesurer la valeur de la densité optique du négatif en certains points. Un micro-densitomètre permet de faire de telles mesures, avec un réglage étalonné des plages de densité, sur des éléments de surface de l'ordre du dixième de mm2. D'autres dispositifs permettent de tracer des coupes densitométriques le long de segments choisis (15).

Les dimensions d'un négatif sont souvent trop faibles pour que la densité en certains points puisse être

mesurée avec précision, car en réalité le densitomètre effectue une intégration sur la surface de mesure. Dans ce cas, une solution consiste à réaliser d'abord un agrandissement sur un film transparent de gamma connu, puis à faire les mesures densitométiques sur ce film.

Dans le cas de photographies en couleur, il est possible de réaliser 3 mesures densitométriques en mettant successivement en jeu 3 filtres appropriés de caractéristiques en transmission bien étalonnées (16).

III.4 - Numérisation

Si l'on décide de réaliser ou de poursuivre l'analyse d'un cliché sur calculateur, à l'aide des techniques numériques de traitement d'images exposées au Chapitre IV, il faut en premier lieu procéder à la numérisation de l'image, c'est-à-dire à son codage sous une forme accessible au calculateur.

Le principe de la numérisation consiste à décomposer l'image en un grand nombre de petits éléments, appelés "pixels" (picture cells), et à attribuer à chacun de ces éléments un "niveau de gris", représenté par un nombre binaire. Ce niveau de gris est en fait le résultat d'une mesure de transmittance (ou de densité optique) effectuée sur le pixel.

La théorie associée à cette forme d'échantillonnage bidimensionnel de l'image sera rappelée au chapitre suivant. En ce qui concerne la mise en oeuvre pratique, les principaux paramètres à fixer sur un "analyseur photographique" (en Anglais : scanner) pour numériser un négatif noir et blanc sont :

- Le pas d'échantillonnage (distance entre pixels).
- La taille de la fenêtre d'analyse (généralement prise égale au pas d'échantillonnage).
- La plage et l'échelle de niveaux de gris.

A titre d'exemple, le restituteur américain OPTRONICS C 4500 sur lequel l'auteur effectue ses numérisations propose les réglages suivants :

- Pas d'échantillonnage : 200 µ, 100 µ, 50 µ, 25 µ ou 12.5 µ
- Taille de la fenêtre : 200 µ, 100 µ, 50 µ, 25 µ ou 12.5 µ
- Niveau de gris : échelle linéaire ou logarithmique en transmittance

  avec - en linéaire : plage fixe correspondant à une plage de densités optiques de 0 à 3

  - en logarithmique : plage ajustable à l'intérieur de la plage de 0 à 3 en densités.
- Chaque pixel est codé sur 8 bits (256 valeurs possibles) écrits sur une bande magnétique compatible ordinateur, l'ensemble de l'image constituant un fichier.

La numérisation de documents en couleur est possible, à l'aide de filtres, et conduit à l'élaboration de 3 fichiers.

Un film cinématographique peut être numérisé image par image à l'aide d'un analyseur. En ce qui concerne les enregistrements vidéo, qui par principe sont déjà échantillonnés dans une dimension, il existe des équipements standard permettant leur conversion en images numériques.

IV - TRAITEMENT NUMERIQUE D'IMAGES

Les techniques de traitement d'images sur ordinateur, d'apparition relativement récente, constituent des outils extrêment puissants pour l'analyse des photographies. Si certains des travaux qu'elles permettent d'exécuter peuvent aussi être effectués avec des moyens analogiques (voir les 2 analyses des célèbres clichés de San Jose de Valderas (17)), elles apportent en plus une souplesse quasiment illimitée en ce qui concerne les transformations applicables aux images, et fournissent une aide précieuse pour la mise en évidence des supercheries (18) (19).

Le traitement d'images couvre en fait un grand nombre de spécialités, dont certaines sont en pleine expansion (vision des robots, reconnaissance automatique, etc...). Dans une première partie de ce chapitre seront passés en revue, d'une façon générale et rapide, les principaux aspects du traitement d'image susceptibles de présenter un intérêt pour le sujet de ce rapport. Dans les parties suivantes, l'application de certaines techniques à la réalisation concrête des deux étapes d'analyse évoquées au paragraphe I.2 sera présentée plus en détail.

IV.1 - Présentation des techniques

Le traitement d'images consiste en un ensemble de techniques et d'outils mathématiques, qui ont été mis au point principalement dans le but de résoudre les trois problèmes suivants :

- Numérisation et codage d'images, c'est-à-dire leur conversion d'une forme continue à une forme discrè-

te. Des images codées peuvent être "comprimées" pour réduire l'espace mémoire nécessaire à leur stockage ou le débit du canal assurant leur transmission.

- Amélioration et restauration d'images, pour mettre en relief certaines caractéristiques intéressantes et d'une façon générale améliorer leur qualité.

- Segmentation et description d'images, pour les transformer en informations sur leur contenu sémantique, destinées par exemple à une classification automatique ou à une prise de décision.

IV.1.1 - Images numériques

Une photographie en noir et blanc peut être représentée par une fonction à deux variables spatiales $f(x,y)$ dont la valeur en chaque point correspond à la brillance ou au "niveau de gris" (entre noir et blanc) de ce point. S'il s'agit d'un film transparent, on peut associer $f(x,y)$ à sa densité optique, définie précédemment et mesurable au micro-densitomètre.

La numérisation d'une image consiste en deux opérations :

- Echantillonnage spatial : des mesures sont effectuées sur un ensemble discret de points équidistants, permettant de représenter l'image $f(x,y)$ à l'aide d'une matrice rectangulaire de nombres réels. La mesure en un point résulte en fait d'une intégration sur un voisinage de ce point.

- Echantillonnage radiométrique : les valeurs associées aux points de mesure sont arrondies de façon à limiter à un ensemble discret les valeurs possibles, que l'on peut alors coder sur un nombre donné de bits.

Une image en noir et blanc numérisée peut donc être considérée comme un tableau de nombres entiers, dont chaque élément est le niveau de gris d'un "pixel". Une image en couleur sera représentée par 3 tableaux (échantillonnage spectral), tandis qu'une séquence de cinéma numérisée correspondra à une séquence de tableaux (échantillonnage temporel).

A une image f(x,y) est associé, par transformation de Fourier, un spectre bidimensionnel de fréquences spatiales F(u,v) défini par :

$$F(u,v) = \int_{-\infty}^{+\infty}\int_{-\infty}^{+\infty} f(x,y)\, e^{-j2\pi(ux+vy)}\, dxdy$$

On trouvera tous les développements mathématiques sur ce sujet dans les ouvrages spécialisés (20) (21), mais il faut souligner les points suivants :

- <u>Pas d'échantillonnage</u> : le théorème de Shannon s'applique à l'échantillonnage spatial d'une image, en imposant une limite supérieure au pas d'échantillonnage (distance entre pixels voisins) qui dépend du spectre F(u,v) de l'image d'origine, si l'on veut éviter les effets de "repliement de spectre". Ces derniers se traduisent concrètement soit par des effets de moiré, soit par l'apparition d'un "crénelage" (escalier) le long des arêtes.

  L'<u>Annexe 5</u> illustre bien ce type de problème.

- Fréquence spatiale : cette notion mathématique correspond, au point de vue visuel, à celle de rapidité de changement du niveau de gris lorsqu'on se déplace sur l'image. Des variations "douces" correspondent à des basses fréquences, tandis que des successions serrées de lignes contrastées sont associées à de hautes fréquences. Plus une image comporte de forts contrastes, plus son spectre spatial est étendu, et plus le pas d'échantillonnage doit être fin pour respecter les conditions de Shannon.

- Fonction de Transfert de Modulation (FTM) : de la même manière qu'un filtre électronique est caractérisé par sa courbe de réponse, tout dispositif par lequel transite une image est caractérisé par sa FTM, qui traduit l'atténuation qu'il apporte aux contrastes en fonction de la fréquence spatiale. Cette caractéristique étant généralement isotrope dans le plan de l'image, la FTM est représentée par une courbe de transmission en fonction d'une variable unique appelée fréquence spatiale.

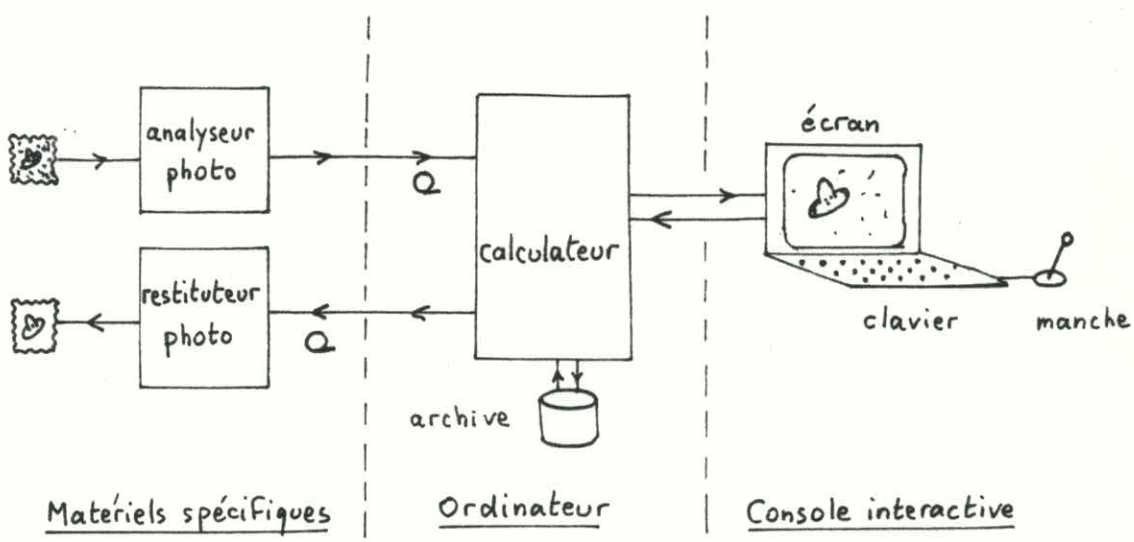
  On prendra ainsi en compte, par composition multiplicative si les dispositifs sont en série, les FTM de "filtres" aussi variés que :

  - Une couche d'atmosphère
  - Un objectif
  - Une émulsion photographique
  - Un analyseur d'images
  - Un filtre numérique sur ordinateur
  - ...

L'échantillonnage radiométrique d'une image doit être suffisamment fin (niveaux de gris codés sur suffisamment de bits) pour éviter les effets de "faux contours" sur les zones de l'image où le niveau varie lentement (voir Annexe 6).

IV.1.2 - Matériels mis en jeu

Une configuration typique de traitement interactif d'images peut être shématisée en trois blocs fonctionnels :



- Les matériels spécifiques de conversion de support permettent la transposition dans les deux sens entre le support d'origine (photographie, film, séquence vidéo) et un support numérique compatible avec le calculateur (généralement une bande magnétique).

  Dans le cas de documents photographiques, il s'agit d'un analyseur (déjà présenté au paragraphe III.4) et d'un restituteur. D'autres matériels spécialisés permettent la numérisation à la volée de séquences vidéo, ainsi que leur restitution.

- Le calculateur exécute les programmes, et notamment ceux qui nécessitent une puissance importante (analyse spectrale, transformations géométriques, ...).

- La console interactive permet la manipulation locale et le dialogue. Les images apparaissent sur un écran tandis que l'utilisateur introduit ses commandes à l'aide d'un clavier standard et d'un outil de désignation (manche à balai ou autre dispositif grâce auquel un curseur peut être déplacé à volonté sur l'écran).

Sur un tel système, la donnée d'entrée peut être un cliché de qualité médiocre, numérisé par l'analyseur, et le résultat final un cliché amélioré issu du restituteur. Dans l'intervalle, des programmes de traitement sont choisis et lancés interactivement depuis la console par l'utilisateur, qui peut visualiser sur l'écran n'importe quel résultat intermédiaire.

IV.1.3 - Amélioration d'images

Dans ce paragraphe sont présentées des méthodes qui permettent d'améliorer la qualité des images sans chercher à caractériser le processus de dégradation qu'elles ont subi. Il s'agit essentiellement de supprimer certains défauts et de mettre en relief certaines caractéristiques au détriment d'autres, le but global étant d'augmenter l'utilité de l'image.

Les types de correction les plus courants sont les suivants :

- Augmentation du contraste (images peu contrastées)
- Augmentation de la netteté (images floues)

- Suppression du bruit (images bruitées).

Modification de l'échelle de gris

Il s'agit d'une classe d'opérations à la fois simples et puissantes qui visent à modifier l'affectation des niveaux de gris aux pixels, généralement dans le but d'accroître le contraste.

Dans un premier cas, il s'agit de corriger les défauts d'un système d'acquisition d'images qui affecte les niveaux de gris en fonction de la brillance de la scène d'une façon différente d'un pixel à l'autre. Une simple calibration, fondée par exemple sur l'image résultant de l'acquisition d'une scène uniforme, suffit à cette opération.

Dans un deuxième cas, on transforme l'échelle des niveaux de gris d'une façon uniforme pour tous les pixels. Si par exemple une image n'occupe pas la totalité de la plage de niveaux de gris autorisée, une simple transformation linéaire permet, par translation et homothétie, d'étendre sa dynamique à toute cette plage (renforcement du contraste).

Des techniques un peu plus complexes mettent en jeu l'histogramme de l'image : si celle-ci est codée sur K niveaux de gris, son histogramme est un diagramme de K barres dans lequel la hauteur de la n ième barre est égale au nombre de pixels dont le niveau de gris est égal à n . Il est possible de réaffecter les plages de niveaux de gris de façon que l'image résultante ait un histogramme de forme prédéterminée (cas particulier : égalisation d'histogramme).

On peut faire entrer dans cette catégorie de techniques la pseudo-couleur, qui consiste à affecter arti-

ficiellement des couleurs à des plages de niveaux de gris.

Corrections géométriques

Il est parfois nécessaire de corriger les distorsions géométriques subies par une image lors de son acquisition. Si des points particuliers dont la position réelle est connue sont visibles sur l'image, on peut calculer un modèle de déformation que l'on appliquera ensuite à la totalité de l'image.

Renforcement de contours

Le processus de formation d'un flou est équivalent à une intégration. A l'inverse, le renforcement des contours peut être réalisé par différenciation, à condition que le niveau de bruit soit négligeable et dans les limites de la résolution inhérente au système d'acquisition de l'image.

Tous les opérateurs dérivatifs $\partial^n/\partial x^k \partial y^{n-k}$ sont utilisables, mais plus particulièrement ceux qui sont isotropes, de façon à renforcer les contrastes dans toutes les directions. Les deux opérateurs les plus classiques sont le module du Gradient :

$$|\nabla f| = \sqrt{(\partial f/\partial x)^2 + (\partial f/\partial y)^2}$$

et le Laplacien :

$$\nabla^2 f = \partial^2 f/\partial x^2 + \partial^2 f/\partial y^2$$

Ces opérateurs, exprimés sous forme discrète, peuvent être formulés ainsi :

$$|\nabla f(i,j)| = \sqrt{[f(i,j)-f(i-1,j)]^2 + [f(i,j)-f(i,j-1)]^2}$$

$$\nabla^2 f(i,j) = f(i+1,j)+f(i-1,j)+f(i,j+1)+f(i,j-1)-4f(i,j)$$

Une autre technique, plus complexe, fait appel à des filtres numériques passe-haut, qui renforcent les hautes fréquences spatiales. On peut ainsi atténuer les effets d'une illumination inégale de la scène.

Atténuation du bruit

Cette opération est utile si l'image est très bruitée, mais elle doit être réalisée avec prudence, car elle tend à créer du flou.

Si les zones de bruit sont bien localisées (points, segments ou voisinage faux), elles peuvent être supprimées et remplacées par interpolation. De même, si le spectre du bruit est bien localisé dans le domaine des fréquences spatiales, il peut être soustrait du spectre avant transformation inverse.

De façon plus générale, on peut effectuer une intégration locale sur les zones bruitées, en essayant d'éviter les lignes et arêtes de l'image utile.

Enfin, lorsque plusieurs images successives bruitées d'un film ou d'une séquence vidéo montrent la même scène, elles peuvent être moyennées pixel par pixel, ce qui a pour effet d'accroître considérablement le rapport signal sur bruit.

IV.1.4 - Restauration d'images

Contrairement au paragraphe précédent, il s'agit ici d'images dont on connaît le processus de dégradation, que l'on peut représenter de la façon suivante en l'absence de bruit :

$$g(x,y) = h(x,y) * f(x,y)$$

où : $\begin{cases} f(x,y) \text{ représente la scène d'origine} \\ h(x,y) \text{ est la réponse impulsionnelle globale du système d'acquisition} \\ g(x,y) \text{ est l'image disponible, égale à la convolution des deux fonctions précédentes.} \end{cases}$

Dans le domaine fréquentiel, cette expression devient :

$$G(u,v) = H(u,v)\ F(u,v)$$

Le principe de la restauration consiste généralement à mesurer ou calculer la FTM du système d'acquisition : H(u,v). Si par exemple une photographie est dégradée à cause d'un mouvement de translation relatif de vitesse V entre l'appareil photo et la scène, et si l'on peut supposer la scène invariante durant le temps de pose t, on vérifie :

$$H\ (u,v) = \frac{\sin(\pi u V t)}{\pi u V}$$

Dans d'autres cas, la réponse impulsionnelle h(x,y) peut être reconstituée à partir de l'image d'un point isolé, d'une ligne contrastée ou d'un bord dans la scène.

Lorsque h(x,y) ou sa transformée H(u,v) est connue, même approximativement, diverses méthodes peuvent être utilisées pour restaurer l'image : filtrage inverse ou déconvolution, filtrage par moindres carrés, filtrage récursif, etc...

IV.1.5 - Segmentation et description

Le but du traitement de l'image n'est plus ici la fabrication d'une image améliorée, mais l'extraction d'informations d'une autre nature (par exemple : un texte issu de la photographie d'un manuscrit).

L'extraction d'objets ou de contours d'une image peut s'effectuer à l'aide d'un seuillage, qui consiste à transformer une image d'origine en une image binaire où tous les pixels dont le niveau de gris était supérieur à un seuil donné sont blancs, et tous les autres noirs. Ce type d'opération, qui peut être raffiné de diverses manières, suit souvent un renforcement de contours.

D'autre méthodes de classification s'appliquent pour localiser dans une image des objets de forme connue (filtrage adapté ou corrélation).

La description d'une image segmentée peut être faite selon de multiples méthodes (arborescentes ou non).

Cette importante branche du traitement d'images, liée à la reconnaissance des formes, est d'un intérêt limité pour ce rapport, et ne sera donc pas présentée plus en détail.

IV.1.6 - Mesures et graphiques

Accessibles sous forme numérique à partir d'un système informatique interactif, les images se prêtent bien à différentes mesures géométriques et photométriques, ainsi qu'à la préparation de graphiques permettant de les repérer ou de les commenter.

Mesures géométriques

Lorsque la géométrie du système d'acquisition est connue, ainsi que le pas d'échantillonnage utilisé pour l'analyse du cliché, les moyens de désignation associés aux outils classiques de manipulation locale des images sur écran (zoom, décadrage) permettent d'effectuer simplement les calculs évoqués au paragraphe II.1.

Mesures photométriques

La densité optique associée à un pixel est directement dérivée de son niveau de gris (échelle de numérisation). Les calculs de luminances sont donc plus faciles à réaliser qu'avec un micro-densitomètre, grâce notamment à l'outil interactif de coupe densitométrique : l'utilisateur trace un segment sur l'image, dans un plan graphique associé, et un programme simple permet de tracer les variations de la densité le long de ce segment (voir exemple au parag. VI.6.).

Graphiques

Il peut être commode de "renseigner" l'image analysée, en lui superposant à l'aide d'outils interactifs des graphiques et du texte. Un plan des lieux peut être tracé, ainsi que le contour des éléments intéressants (calcul de surface immédiat).

IV.2 - Détection des supercheries

La plupart des supercheries consistent à photographier un petit objet suspendu à un fil, collé sur une vitre ou lancé en l'air. Les outils informatiques présentés plus haut peuvent être particulièrement efficaces, notamment dans les deux domaines suivants.

Mise en évidence d'un fil

L'analyse faite par GSW des clichés de San Jose de Valderas (17) illustre parfaitement l'utilisation des techniques de renforcement des contours pour mettre en évidence une structure linéaire qui n'apparaissait pas à première vue sur une image.

Généralement, le fil auquel est suspendu l'objet se présente à peu près verticalement dans le plan (x,y) de la photographie. Tous les opérateurs de dérivation en x de la forme $\partial^n/\partial x^n$ sont donc intéressants, les meilleurs résultats visuels étant souvent obtenus par combinaison linéaire de l'image d'origine f(x,y) et de ses deux premières dérivées en x : $\partial f/\partial x$ et $\partial^2 f/\partial x^2$.

L'Annexe 6 présente un exemple de traitement par étapes un peu plus complexe conduisant à la visualisation du fil de suspension d'une maquette.

Reconnaissance d'un petit objet

Lorsque suffisamment de données techniques sur l'appareil photo et le site sont disponibles, il est aisé de déterminer la taille angulaire de l'objet. Le problème qui se pose alors est de déterminer si cet objet était petit et proche ou grand et éloigné. Plusieurs approches sont possibles, suivant les données disponibles.

Dans le cas où plusieurs clichés montrant l'objet sont disponibles, un raisonnement purement géométrique peut conduire, par recoupements, à une mesure de la distance, donc de la taille de cet objet.

A l'intérieur de la profondeur de champ, on sait que la dégradation des contrastes croît avec la distance (FTM de l'épaisseur d'atmosphère) ; l'examen de lignes de discontinuité sur des objets de référence situés à des distances connues permet donc, par comparaison avec les contours de l'objet étudié, d'estimer la distance de celui-ci par interpolation. Pour cela, on utilise l'outil de coupe densitométrique le long de segments perpendiculaires aux lignes de discontinuité, et on visualise ainsi directement sous forme graphique l'effet de la FTM créée par la diffusion atmosphérique.

Des considérations purement photométriques permettent parfois d'affirmer qu'un objet ne pouvait pas être très éloigné de l'objectif. C'est notamment le cas lorsque cet objet apparaît franchement plus sombre que d'autres éléments de la scène dont on sait qu'ils sont noirs, en raison des propriétés présentées au paragraphe II.3. En effet, la luminance apparente d'un corps noir croît avec la distance, à cause de la diffusion atmosphérique ; les distances à l'objectif relatives de plusieurs éléments de surface noirs (ou de même albedo) sont donc directement dérivables de leurs luminances apparentes devant l'objectif. Sur une image numérisée, dont on connaît les paramètres de numérisation, on peut calculer directement la luminance apparente correspondant à un pixel en fonction de son niveau de gris, à l'aide des formules photographiques présentées au paragraphe II.4.2.

Enfin si le petit objet était plus proche que la limite inférieure de la profondeur de champ, les distor-

sions géométriques créées par les lentilles sont identifiables par un examen de la distribution des niveaux de gris, à condition qu'un segment de droite ou une symétrie propre à l'objet soit localisé. Dans le même ordre d'idées, l'analyse d'un léger flou de bougé (mouvement relatif entre le photographe et l'objet) peut permettre de calculer une limite pour la distance entre l'objet et l'objectif.

Chacune des approches présentées ci-dessus est illustrée concrètement dans l'analyse des clichés de T, présentée au chapitre VI.

IV.3 - Analyse des clichés

Lorsqu'une image a résisté à tous les examens sans pouvoir être expliquée, les techniques de traitement numérique permettent d'améliorer sa présentation, de la restaurer, de l'analyser et d'effectuer dessus un certain nombre de mesures.

Tous les types de calculs évoqués au paragraphe précédent pour la mise en évidence d'une petite distance entre l'objet étudié et l'appareil photo sont applicables à la caractérisation d'un phénomène non identifié. Cela concerne en particulier les calculs géométriques et les estimations de distance à partir de l'étude des lignes de contour.

Dans le domaine photométrique, des mesures quantitatives peuvent être effectuées sur l'éclairement relatif de la scène, si toutes les caractéristiques techniques de la chaîne d'acquisition sont connues, et notamment la courbe de H & D. On peut, par programme, en déduire des transmittances, réflectances et luminances (voir

paragraphe II.2). Selon les conditions de l'éclairement (diffus ou non) de la scène et les éléments de comparaison éventuellement disponibles sur l'image, il est possible de calculer l'albedo d'éléments de surface non lumineux, ou l'intensité de sources d'énergie. Si des calibrations ont été possibles avec toute la chaîne d'acquisition (modalités de développement du film comprises), on peut même effectuer des calculs de flux lumineux en absolu.

Les techniques d'amélioration et de restauration d'images, évoquées aux paragraphes IV.1.3 et IV.1.4, constituent des outils particulièrement efficaces pour l'examen des photographies inexpliquées. Utilisés interactivement, des programmes de modification de contraste, de pseudo-couleur, de débruitage ou de détection de contours facilitent grandement la compréhension visuelle de la scène. Par ailleurs, l'estimation de la FTM correspondant au processus global d'acquisition de l'image, à partir de l'analyse d'une ligne de discontinuité dans la scène par exemple, permet d'envisager une déconvolution sur l'image dans le but d'en améliorer la netteté. Ce type d'opération n'est bien sûr envisageable qu'avec des moyens informatiques.

V - PROCEDURES D'ANALYSE DES CLICHES

Certains groupements ufologiques ont publié des guides pour enquêteurs comportant quelques indications sur l'analyse des photographies (22). Des livres, plus documentés, ont présenté des catalogues de clichés commentés (23). Un groupement américain, le Ground Saucer Watch (GSW), s'est spécialisé dans l'analyse sur ordinateur des photographies présumées d'OVNIs, en utilisant quelques programmes standard de traitement d'images (24) (25) (26). A l'occasion d'articles ou de notes techniques, certains auteurs ont publié de temps à autre quelques formules d'optique empiriques (27) (28).

Face à cette situation relativement confuse, le GEPAN a souhaité disposer d'un inventaire des techniques et des méthodes d'analyse de clichés existantes, ce qui a conduit à l'élaboration du présent rapport. Ce chapitre récapitule, étape par étape, les procédures à suivre pour expertiser une photographie à l'aide des techniques exposées précédemment.

V.1 - Recueil d'informations

Etant donné un négatif noir et blanc original à analyser, toutes les données techniques relatives au site, aux conditions de prise de vue, à l'appareil photo, à ses réglages, au film et à son développement (voir paragraphe I.3) doivent être recherchées auprès du témoin, des fabricants et du photographe qui a traité le film.

Si l'appareil photo encore chargé est disponible, il faut l'utiliser pour faire des calibrations :

- photos de mires de densités (photométrie relative),
- photos de sources calibrées en intensité, en diverses positions du champ angulaire (photométrie absolue),
- photos de mires fréquentielles (FTM),
- photos prises sur le même site que les originaux, le cas échéant avec des simulations du phénomène (maquettes, lampes),

puis développer le film dans des conditions rigoureuses.

Si l'appareil photo est disponible mais vide, on peut effectuer les mêmes opérations avec un film de même type que l'original. Les reconstitutions sur place sont particulièrement utiles dans la plupart des cas (voir Chapitre VI).

Sur le site, il convient de rassembler le plus grand nombre possible de mesures concernant les éléments de paysage observés sur les clichés originaux, tant en planimétrie qu'en altimétrie. Ces mesures peuvent soit être effectuées directement, soit être relevées à partir de cartes détaillées (cartes d'Etat-Major, par exemple). S'il s'agit d'une photo de ciel nocturne, une carte du ciel vu du site au moment de la prise de vue sera nécessaire.

Les conditions météorologiques doivent être demandées à la Météorologie Nationale, en particulier en ce qui concerne la visibilité horizontale. Si un aérodrome ou une base aérienne est proche, on pourra y obtenir également ce type d'informations.

Il va de soi que tous les éléments quantifiés du témoignage (vitesse angulaire de déplacement, couleur, etc...) sont à prendre en compte à défaut de mesures instrumentales.

V.2 - Examen et numérisation du négatif

Un négatif original arrive souvent dans un état de propreté douteux, après être passé de main en main. Il convient généralement de le laver abondamment à l'eau distillée (29), voire avec un savon doux.

En suivant, à ce stade, les indications du paragraphe III.1, on note les informations auxiliaires du cliché, on recherche à la loupe ou au microscope l'évidence de retouches ou de défauts de l'émulsion, dans la mesure où la question peut se poser (cela dépend essentiellement de la taille et de l'aspect de l'image du phénomène sur le négatif). La distribution des grains sera examinée au microscope si les conditions d'exposition du cliché ne sont pas certaines.

L'exploitation du négatif peut se poursuivre à l'aide de moyens photographiques conventionnels et de mesures au micro-densitomètre (voir paragraphes III.2 et III.3), notamment si l'explication du phénomène paraît simple. Nous envisageons ici un traitement systématique sur ordinateur.

La numérisation doit être faite avec le meilleur choix possible pour les paramètres. Le pas d'échantillonnage et la fenêtre d'analyse seront déterminés par le grain car il est inutile de réduire la taille des pixels en deçà du niveau du bruit de grain. Un bon choix se situera, dans le cas général, entre 20 µ et 50 µ. La

plage de densités optiques choisie dépendra d'une analyse densitométrique préalable sur le film visant à déterminer la dynamique utile. Cette plage sera couramment fixée de 0 à 2 ou de 0 à 3. La numérisation portera, si possible, sur la totalité de l'image en débordant même un peu sur le film non exposé, de façon à permettre notamment la mesure directe de la densité maximale.

V.3 - Analyse géométrique

Pour effectuer des mesures interactives et des calculs géométriques sur une image numérique, il peut être utile d'améliorer préalablement son aspect. C'est ainsi qu'on pourra utiliser d'abord les outils logiciels de renforcement des contrastes, de débruitage, de détection de contours ou de restauration présentés au paragraphe IV.1.

La première étape consistera, si la question se pose, à essayer de mettre en évidence une supercherie fondée sur un petit objet, suspendu ou non (voir paragraphe IV.2).

S'il y a lieu, l'analyse se poursuivra comme indiqué au paragraphe IV.3, en effectuant le cas échéant des recoupements entre plusieurs clichés et le paysage observé. Plusieurs clichés pourront ainsi être localisés l'un par rapport à l'autre si chacun d'eux est localisé par rapport à un même référentiel. Ce dernier peut être constitué par la voûte céleste, dans le cas de clichés nocturnes, comme l'illustre la référence (3).

Au cours de l'étude géométrique il peut être utile de recourir à des outils graphiques, pour matérialiser des directions et des angles sur l'écran, mesurer des longueurs et des surfaces, etc...

V.4 - Analyse photométrique

Ce type de travail pourra servir, dans un premier temps, à établir ou rejeter l'authenticité du cliché (compatibilité entre les distances relatives alléguées et les luminances apparentes des éléments de la scène). Par la suite, il servira éventuellement à déterminer des caractéristiques du phénomène inexpliqué, en relatif ou en absolu.

Le problème de base consiste à dériver du niveau de gris d'un pixel :

- la luminance de l'élément de scène correspondant dans la direction de l'objectif et éventuellement son albedo si les conditions d'éclairement en permettent le calcul.

- l'intensité de la source lumineuse ponctuelle éventuellement située dans cet élément de scène.

Les formules à exploiter numériquement sont toutes celles du Chapitre II. Les principales étapes de raisonnement sont les suivantes :

- du niveau de gris N d'un pixel, déduire sa densité optique d, connaissant les paramètres de numérisation. Par exemple :

pour $\begin{cases} \text{plage de densité : 0 à 2 (numérisation linéaire en densité optique)} \\ \text{codage des pixels sur 8 bits} \end{cases}$

on aura : $d = 2 - N/127.5$

- de la courbe H & D et de la densité d, déduire la lumination $\mathcal{E}$.
  A défaut de la courbe H & D exacte, on utilisera une courbe standard (par défaut, on prendra une valeur de 0.8 pour le gamma).

- de la lumination $\mathcal{E}$ et du temps de pose t, déduire l'éclairement E de la pellicule : $E = \mathcal{E}/t$.
  Si t est inconnu, il est parfois possible de l'estimer à partir de l'intégration d'un mouvement connu sur le cliché (exemple : longueur de l'arc décrit par une étoile au cours d'une pose nocturne).

- de l'éclairement E, de la transmittance T de l'objectif, du nombre d'ouverture n et de l'écart angulaire θ de l'élément considéré avec l'axe optique, déduire la luminance apparente L' de l'élément devant l'objectif :

$$L' = \frac{4n^2 E}{\pi T} \cos^{-4}\theta$$

  Si T n'est pas connu exactement, on pourra utiliser la valeur type généralement admise : 0.8.
  L'angle θ se déduit aisément des caractéristiques de l'objectif.

- exploiter la relation entre L', la luminance intrinsèque L de l'élément, sa distance x de l'objectif, la luminance L_H du ciel à l'horizon et le coefficient d'extinction α :

$$L' = 10^{-\alpha x} L + (1-10^{-\alpha x}) L_H$$

Si E_H est l'éclairement mesuré, comme précédemment, en un point du ciel près de l'horizon écarté d'un angle θ_H de l'axe optique, les relations précédentes se combinent pour donner :

$$L = \frac{4n^2}{\pi T} 10^{\alpha x} [E \cos^{-4}\theta - (1-10^{-\alpha x}) E_H \cos^{-4}\theta_H]$$

- il est possible de calculer le coefficient d'extinction α à partir de deux éléments du paysage situés à des distances connues et dont on peut supposer les luminances intrinsèques égales (exemple : des objets de même nature dans les mêmes conditions d'éclairement) ; il suffit pour cela de résoudre numériquement l'équation suivante en α :

$$10^{\alpha x_1} [E_1 \cos^{-4}\theta_1 - (1-10^{-\alpha x_1}) E_H \cos^{-4}\theta_H] =$$
$$10^{\alpha x_2} [E_2 \cos^{-4}\theta_2 - (1-10^{-\alpha x_2}) E_H \cos^{-4}\theta_H]$$

On peut aussi déduire α de l'éclairement E_n d'un élément noir (L = 0) du paysage situé à une distance x_n connue, grâce à la relation suivante :

$$\alpha = -\frac{1}{x_n} \log \left(1 - \frac{E_n \cos^{-4}\theta_n}{E_H \cos^{-4}\theta_H}\right)$$

Si aucun raisonnement ne permet de dériver la valeur de α de mesures densitométriques sur l'image, on pourra recourir à la formule empirique proposée par B. MACCABEE (1) (28) :

$$\alpha \approx \frac{1.7}{V}$$ où V est la visibilité.

(Par exemple, pour une visibilité de 10 Km on a : $\alpha \approx 0.17\ Km^{-1}$)

- Calculs d'albedo : par ciel couvert, un élément de surface verticale non lumineux d'albedo R a pour luminance :

$$L = R\frac{L_H}{2}$$. On en déduit :

$$(1 - \frac{R}{2})\ 10^{-\alpha x} = 1 - \frac{E\cos^{-4}\theta}{E_H\cos^{-4}\theta_H}$$

avec cette formule, on peut calculer R si x est connu, ou l'inverse.

Si un cliché, notamment nocturne, montre une source lumineuse, on peut essayer d'évaluer sa puissance de la façon suivante :

- de la courbe H & D et du temps de pose, déduire l'éclairement E du film.

- mesurer la surface S de l'image de la source sur le négatif : le flux lumineux reçu par l'objectif (de transmittance T) est :

$$F = \frac{ES}{T}$$

- si on suppose la source isotrope, le flux total F_T quelle émet est inversement proportionnel à l'angle solide sous lequel l'ouverture de l'objectif est vue de la source :

$$F_T = \frac{f^2}{16 n^2 x^2} F$$ avec : $\begin{cases} f = \text{focale de l'objectif} \\ n = \text{nombre d'ouverture} \\ x = \text{distance de la source} \end{cases}$

- La correspondance entre flux lumineux F (exprimé en Lumen) et puissance P (exprimée en Watt) peut être établie simplement si on se réfère à une lampe à incandescence à 2850° K (utilisée généralement pour étalonner les films). On vérifie dans ce cas :

$$P = \frac{F}{20}$$

Dans le cas où les informations techniques sur le développement du film font défaut (courbe H & D), on peut recourir à une formule empirique (27) :

$$P = \frac{0.63\, \varphi^2 n^2\, 10^{(d - 0.78 - 0.68 \log S)}}{f^2 t}\, x^2$$

avec : P = puissance électrique qui devrait alimenter une lampe à incandescence à 2850°K pour donner le même éclairement sur le film que la source supposée isotrope (en Watt)

x = distance entre la source et l'objectif (en mètres)

φ = diamètre de l'image de la source sur le film (en mm)

n = nombre d'ouverture

d = densité optique de l'image de la source sur le film

S = sensibilité du film (en ASA)

f = focale de l'objectif (en mm)

t = temps de pose (en secondes). On prendra par

défaut : t = 0.025 pour les appareils à temps de pose unique.

V.5 - Autres supports

En dehors des photographies en noir et blanc, les techniques d'analyse présentées précédemment peuvent s'appliquer à d'autres supports d'information.

Un cliché en couleur peut être étudié en noir et blanc dans tous les cas, et on n'exploite alors que ses données de luminance. Il peut aussi être analysé comme 3 clichés, après filtrage, avec des moyens analogiques ou numériques. L'information de couleur peut servir à la classification des éléments de la scène, ou à la caractérisation du phénomène observé. L'auteur a eu l'occasion en Espagne de prouver qu'une photo était truquée par de simples considérations colorimétriques : l'existence d'une très forte dominante magenta dans tout le paysage où évoluait "l'OVNI" rendait totalement impossible l'existence de facettes blanches observées sur une partie de l'objet qui était par ailleurs de couleur cyan. En effet, il aurait fallu une énergie infinie pour que la composition des couleurs donne le blanc pur qu'on observait, et il s'agissait en fait du collage d'un morceau de photo (blanche et cyan) sur une autre (magenta).

Dans un cliché nocturne en couleur où l'on peut identifier une étoile, la connaissance de la couleur réelle de celle-ci permet d'étalonner l'image et donc de déterminer la couleur d'une source inconnue.

Un film cinématographique peut être analysé image par image. Des études de trajectographie sont possibles

pour un objet qui se déplace dans le champ, à condition que l'on ait des références.

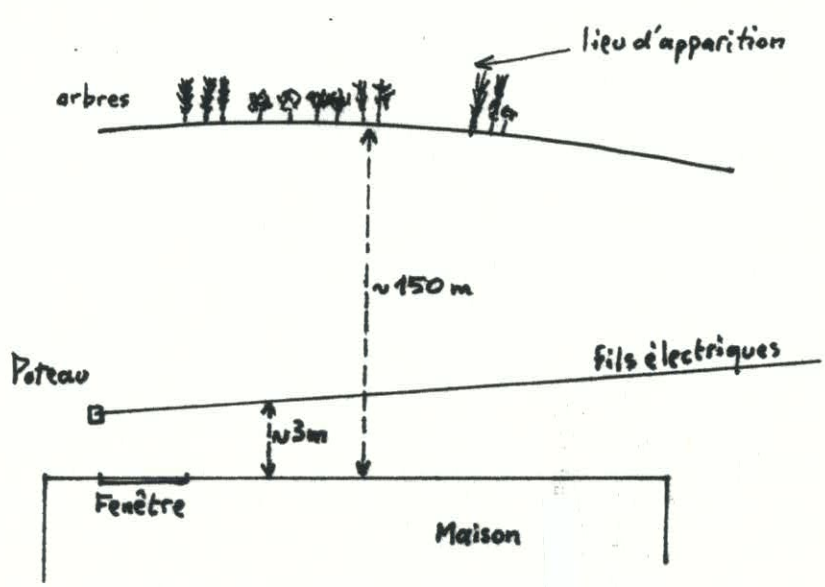
Une séquence vidéo, en noir et blanc ou en couleur, peut être numérisée et étudiée sur un système informatique de traitement d'images. La technique d'accumulation de trames est très efficace pour améliorer le rapport signal sur bruit si les déplacements des éléments de la scène sont suffisamment lents.

Enfin, un cas particulier de document photographique que l'on peut être amené à analyser sur ordinateur est constitué par une photographie prise à travers un réseau de diffraction. L'exploitation numérique de ce type de document a déjà été décrite par ailleurs (30) (31).

VI - EXEMPLE : LES CLICHES DE T

A titre d'illustration des chapitres précédents, un "cas photographique" inédit a été analysé à la demande du GEPAN. Il s'agit d'un jeu de 3 clichés en couleur réalisés en février 1983 vers 13 heures dans une région montagneuse par un enfant de 12 ans. Celui-ci affirme avoir vu par la fenêtre de sa chambre 3 formes dans le ciel ne ressemblant à rien de connu, avoir pris son appareil photo qui se trouvait dans la pièce et avoir tiré les 3 derniers clichés du rouleau chargé alors que les objets progressaient de droite à gauche dans le ciel. Selon le témoin, ces 3 objets étaient à environ 150 mètres de distance, et s'approchaient lentement de lui en émettant de la lumière par leur face inférieure. Il dit avoir ensuite observé par la fenêtre la transformation de ces objets en 3 boules lumineuses de couleurs variables, qui ont ensuite disparu dans les nuages.

Les clichés, que nous appellerons TA, TB et TC dans leur ordre chronologique, ont été pris à travers une fenêtre, et on identifie dans le paysage les repères suivants, par distances de l'objectif croissantes : des fils électriques, une rangée d'arbres et d'arbustes, l'horizon avec d'autres arbres. Vue du dessus, la configuration des lieux était la suivante (échelle non respectée) :



Cliché TA

Cliché TB

Cliché TC

L'enquêteur du GEPAN s'est rendu sur place et, à titre de calibration, a pris des photographies de la même scène avec l'appareil du témoin, après avoir collé sur le carreau de sa fenêtre 3 "faux OVNIs" de papier colorié en noir ayant à peu près la même apparence que les objets inconnus. Le temps était très clair ce jour-là, alors qu'il avait été couvert le jour de l'observation initiale. Nous retiendrons pour l'étude 2 de ces clichés de calibration, que nous appellerons T7 et T8.

Cliché T7

Cliché T8

La question qui se posait était de déterminer si le témoin disait la vérité (gros objets à environ 150 mètres de sa maison) ou s'il s'agissait de petites maquettes collées à sa vitre. Dans ce cas, il devait y avoir eu 2 collages successifs, puisqu'entre les clichés TA et TB les "OVNIs" avaient tous "basculé".

Données photographiques du problème :

- Appareil KODAK 450 electronic flash
- Objectif de 24 mm
- Réglage en position flash : 1/60 avec f/6.8

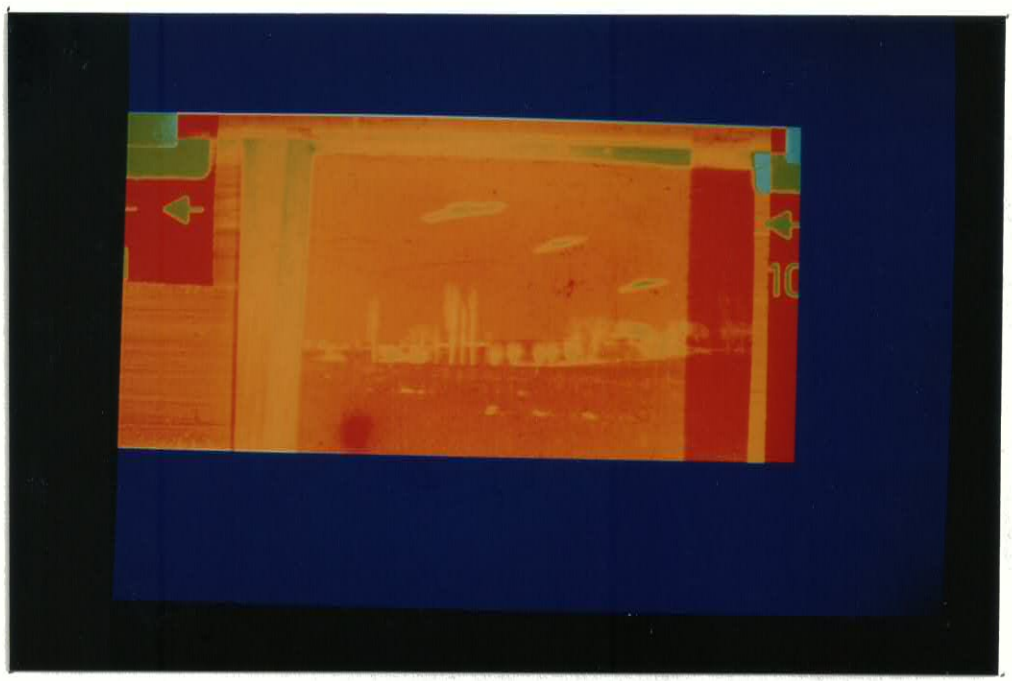
Il se trouve qu'il est possible de démontrer de 6 manières différentes et indépendantes que ce témoignage est un faux, ce qui en fait une bonne illustration de plusieurs des méthodes présentées dans ce rapport. On pourra rapprocher ce dossier de la référence belge (32).

Les 5 négatifs ont été numérisés en noir et blanc, avec les paramètres suivants :

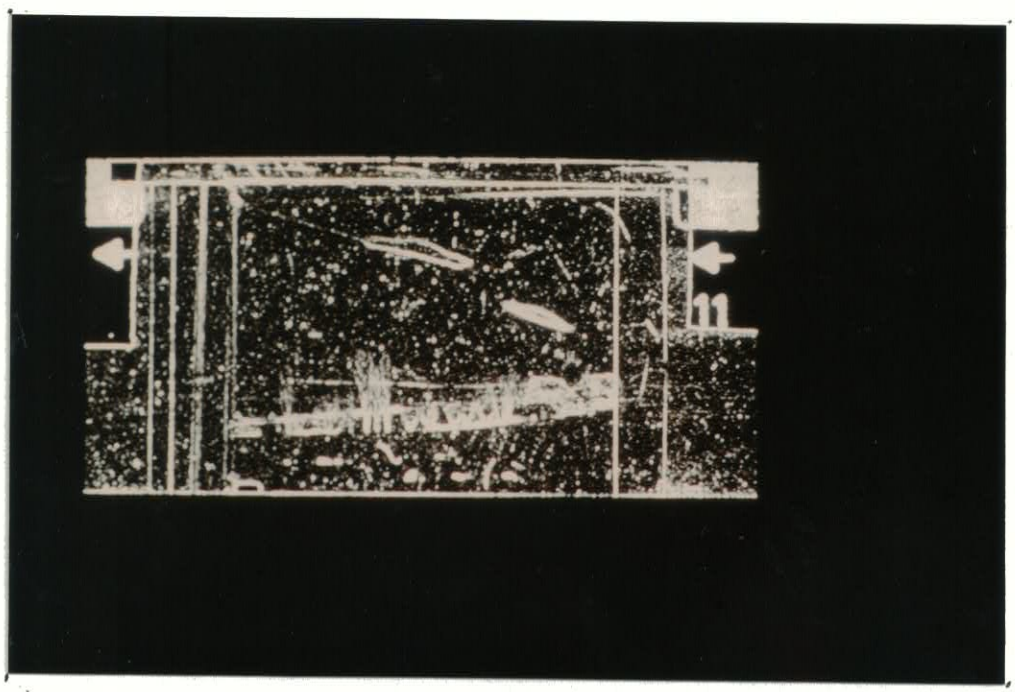
- Pas de numérisation : 25 µ
- Fenêtre : 25 µ
- Plage de densités : 0 à 2 (linéaire en densités optiques)

Les travaux présentés ci-dessous ont été exécutés sur une puissante configuration informatique de traitement d'images, permettant la manipulation et la visualisation d'images en couleur de haute résolution (1024 x 1024 pixels). Plusieurs programmes interactifs utilisés pour la photo-interprétation ont été adaptés aux besoins de l'étude avec l'aide de P. FLAMENT. Les photos suivantes illustrent les techniques utilisées pour la présentation des images sur écran.

Cliché TA : application de pseudo-couleurs

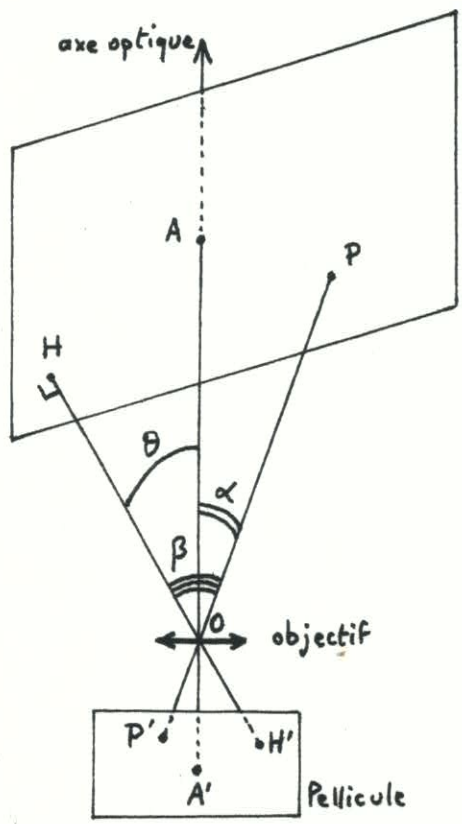


Cliché TB : application d'une détection de contours

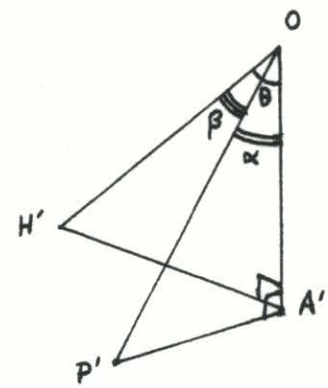


VI.1 - Géométrie d'ensemble

Les négatifs TA, TB, TC et T7 présentent la particularité de montrer le reflet du flash, c'est-à-dire l'image du pied de la perpendiculaire menée de l'appareil photo au plan de la fenêtre. Ces 4 clichés sont donc dans les conditions d'application des considérations géométriques suivantes :



A' : centre optique du cliché
H' : reflet du flash
P' : image d'un point P quelconque du plan



On vérifie :

$$\begin{cases} OA' = f \text{ (focale)} \\ \operatorname{tg}\theta = \dfrac{A'H'}{f} \\ \operatorname{tg}\alpha = \dfrac{A'P'}{f} \\ \cos\beta = \dfrac{OH'^2 + OP'^2 - H'P'^2}{2OH'.OP'} \text{ avec } \begin{cases} OH'^2 = A'H'^2 + f^2 \\ OP'^2 = A'P'^2 + f^2 \end{cases} \end{cases}$$

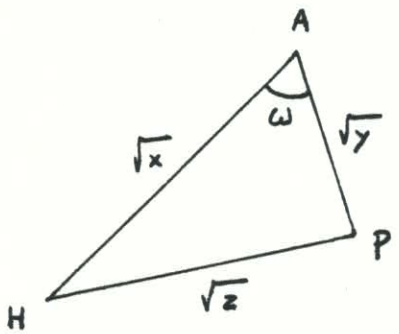
$$\begin{cases} AH = OH \ \mathrm{tg}\,\theta \\ HP = OH \ \mathrm{tg}\,\beta \\ AP = \sqrt{OA^2 + OP^2 - 2OA.OP \cos\alpha} \\ OA = \dfrac{OH}{\cos\theta} \\ OP = \dfrac{OH}{\cos\beta} \end{cases}$$

On pose :

$$\begin{cases} a = \left(\dfrac{A'H'}{f}\right)^2 \quad b = \left(\dfrac{A'P'}{f}\right)^2 \quad c = \left(\dfrac{H'P'}{f}\right)^2 : \\ \text{mesurés sur l'image} \\ x = \left(\dfrac{AH}{OH}\right)^2 \quad y = \left(\dfrac{AP}{OH}\right)^2 \quad z = \left(\dfrac{HP}{OH}\right)^2 : \\ \text{calculés} \end{cases}$$

On vérifie alors :

$$\begin{cases} x = a \\ y = (1+a)\left[1 - \dfrac{4(1+a-c)}{(2+a+b-c)^2}\right] \\ z = \dfrac{4(1+a)(1+b)}{(2+a+b-c)^2} - 1 \end{cases}$$



$$\cos^2\omega = \frac{(1+a)(a+b-c)^2}{a\left[(a+b-c)^2 + 4b\right]}$$

La distance entre 2 points du plan P_1 et P_2 est donnée par :

$$\left(\frac{P_1P_2}{OH}\right)^2 = y_1 + y_2 - 2\sqrt{y_1 y_2}\,\cos(\omega_1 - \omega_2)$$

$$\boxed{\left(\frac{P_1P_2}{OH}\right)^2 = y_1 + y_2 - \frac{1}{2x}\left\{(x+y_1-z_1)(x+y_2-z_2) + \sqrt{\left[2(xy_1+y_1z_1+z_1x)-(x^2+y_1^2+z_1^2)\right]\left[2(xy_2+y_2z_2+z_2x)-(x^2+y_2^2+z_2^2)\right]}\right\}}$$

En appliquant cette formule, on a étudié les variations (entre les clichés TA, TB et TC) de la longueur de chacun des 3 objets supposés dans le plan de la fenêtre et de la largeur du rebord vertical de cette fenêtre. En raison des flous, notamment sur TB, les mesures effectuées interactivement sur écran n'ont pu être très précises, mais on a vérifié les résultats suivants :

- Les objets sont bien les mêmes sur les 3 clichés, puisque malgré le changement d'échelle, leurs longueurs restent dans les mêmes proportions à quelques % près.

- Entre TA et TB, les variations de longueur apparente des 2 objets de gauche sont proportionnelles à la variation de largeur apparente du rebord vertical de la fenêtre, et ceci à 3% près. Ceci prouve soit que les 3 objets étaient effectivement dans le plan de la fenêtre, soit que la taille apparente de 3 grands OVNIs a varié précisément (à 3% près) dans les mêmes proportions que le bord de la fenêtre, ce qui signifierait, en les supposant solides, qu'ils se sont approchés du témoin exactement dans le même rapport que

celui-ci se rapprochait de la fenêtre...

Il va de soi que seule la première explication est recevable.

VI.2 - Photométrie

Le temps était totalement couvert en ce jour d'hiver, et les photos sont donc dans les conditions d'application des formules du paragraphe II.3. On peut considérer sans risque d'erreur que les troncs les plus sombres de la rangée d'arbres étaient intrinsèquement noirs. Les "OVNIs" apparaissent également noirs ; s'ils se trouvaient, comme l'affirme le témoin, au-delà des arbres, la diffusion atmosphérique devait les faire paraître plus clairs que les troncs. Si au contraire il s'agissait de petits objets collés à la fenêtre, leur seule source d'illumination possible était le flash et on ne peut rien comparer a priori.

Cependant, il suffisait qu'une portion de l'un des objets paraisse nettement plus sombre que le plus sombre des troncs pour démontrer que cet objet était nettement plus près de la fenêtre que les arbres, c'est-à-dire pour prouver que le témoignage est faux.

Cette propriété est effectivement vérifiée, par exemple dans le cliché TB, où le niveau de gris minimal du 2ème objet est de l'ordre de 118 alors que le pixel le plus sombre de la rangée d'arbres a pour niveau 146.

Une coupe densitométrique tracée le long d'un axe AB qui coupe cet objet et un tronc d'arbre noir montre clairement que l'objet est beaucoup plus sombre que le tronc.

VI.3 - Fils électriques

Pour invalider le témoignage, il suffit en fait de prouver que les objets étaient plus proches du témoin que d'autres éléments du paysage situés eux-mêmes à une distance inférieure aux 150 mètres indiqués.

Les fils électriques, situés à 3 mètres environ de la fenêtre, constituent de ce point de vue un bon point de repère, notamment sur le cliché TB où leur image coupe celle du plus gros objet. A l'aide de divers outils de manipulation d'image, on a essayé en vain de mettre en évidence un contraste entre l'objet et le fil ; en particulier, à l'aide d'un zoom et d'un programme de seuillage interactif, on a pu vérifier que le fil n'apparaissait jamais en superposition de l'objet. Or des mesures précises de niveaux de gris montrent que le fil électrique est plus clair (niveau de l'ordre de 178) que l'objet (niveaux s'étalant entre 147 et 162).

Si l'objet était plus éloigné que le fil, ce dernier apparaîtrait en superposition, en particulier sous l'action d'outils de renforcement de contraste. Comme il n'en est rien, on déduit que l'objet était à une distance inférieure à 3 mètres.

Le même raisonnement s'applique du reste au cliché TC, en ce qui concerne les distances relatives de l'objet de droite et de l'arbre dont il cache le sommet.

VI.4 - Flou de bougé

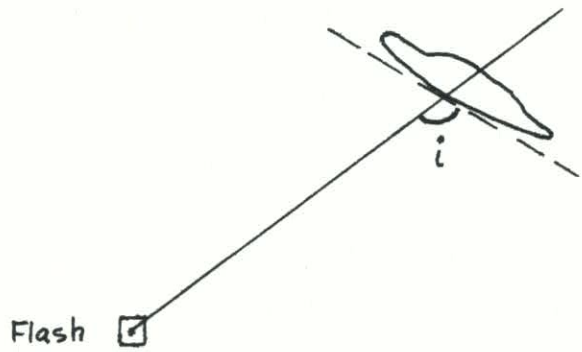
Le cliché TB apparaît nettement plus flou que les autres, et un examen attentif permet de se rendre compte que le témoin a bougé en le prenant ; il existe en effet sur le rebord vertical de la fenêtre des points isolés plus clairs dans le bois, et leur dédoublement apparent sur TB permet d'apprécier la direction et l'amplitude du mouvement.

Or l'examen des objets, notamment du plus gros, conduit à remarquer un dédoublement analogue, de même ampleur et dans la même direction. Des coupes densitométriques parallèles, réalisées respectivement en travers du bord de la fenêtre et du bord de l'"OVNI", on permis de vérifier quantitativement cette impression. Par ailleurs les arbres, qui sont beaucoup plus éloignés, n'apparaissent pas plus flous sur le cliché TB que sur les autres clichés.

La seule explication possible de ces constatations est que les objets se trouvaient sensiblement à la même distance de l'objectif que le rebord de la fenêtre (même déplacement angulaire apparent dans le champ de l'objectif).

VI.5 - Lumière émise

Le témoin prétend que les objets émettaient de la lumière dans leur partie inférieure. Il suffit d'examiner la distribution de cette "lumière" sous les objets par rapport à la position du reflet du flash pour voir immédiatement que son intensité varie en fonction de l'angle i défini par le schéma suivant :



Cliché TC : contrastes très renforcés

Cette propriété étant conservée quelle que soit la position des objets (comparer notamment les clichés TA et TC), l'explication par une coïcidence n'est pas recevable, et la "lumière émise" n'est que le reflet du flash sur les bords des petits objets collés sur la vitre.

VI.6 - Loi d'illumination

On voit sur les négatifs TA et TB le haut de la fenêtre. L'utilisation d'outils interactifs de modification de contraste et de seuillage a permis de mettre en évidence une loi d'illumination analogue, décroissante de gauche à droite, le long de ce haut de fenêtre et le long de l'ensemble que constituent les objets.

Les 2 coupes densitométriques suivantes, faites sur le cliché TB, font apparaître une même pente moyenne de décroissance vers la droite sur le haut de la fenêtre et sur l'objet. Ceci traduit évidemment le fait que ces objets sont dans le plan de la fenêtre, où ils ne sont éclairés que par le flash selon la même loi que le haut de cette fenêtre.

TB : coupe densitométrique du haut de la fenêtre

TB : coupe densitométrique de l'objet

VI.7 - Explication finale

Le témoin a collé, à 2 reprises, 3 objets sur la fenêtre et les a photographiés 3 fois. L'histoire a été inventée après coup, en fonction de l'aspect des tirages.

Il est possible de reconstituer un certain nombre d'éléments, en utilisant les formules présentées au paragraphe VI.1 et grâce aux 2 considérations suivantes :

- Les clichés TA, TB et T7 font apparaître un élément commun de référence : le rebord vertical de la fenêtre.

- Les "faux OVNIs" en papier du cliché T7 sont disponibles, donc mesurables. Leurs longueurs respectives sont : 80.5 mm et 63.5 mm.

On déduit par mesure sur écran et calcul les distances réelles entre l'objectif et la fenêtre :

sur T7	:	47 cm
sur TA	:	30 cm
sur TB	:	23 cm

et la taille des "faux OVNIs", de gauche à droite :

1er objet	:	≈ 4.5 cm
2ème objet	:	≈ 3 cm
3ème objet	:	≈ 3 cm

Le fait que le témoin ait pris ses photos de plus près que l'enquêteur du GEPAN explique qu'elles soient plus floues, car la fenêtre était alors en deçà de la limite inférieure de profondeur de champ. Entre TA et TB, il s'est approché de la fenêtre, et entre TB et TC il s'est encore un peu approché, en pivotant légèrement vers la droite.

ANNEXE 1 : PHOTOGRAPHIE NOCTURNE TYPE

AUTHENTICITE : possible

QUANTITE D'INFORMATION : très faible !

ANNEXE 2 : LES DEUX LUNES DE BARCELONE

Cliché A

Cliché B

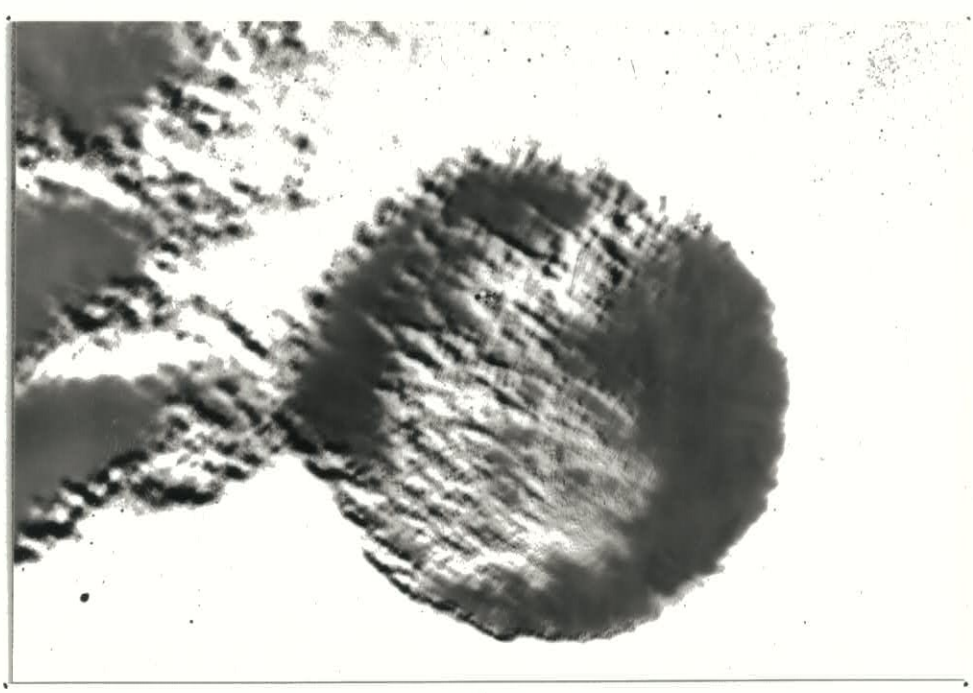
Ces deux clichés, qui à l'origine étaient des diapositives, montrent un exemple de réflexion dans l'optique d'un appareil photo (la plus petite des 2 sources lumineuses, la plus grosse étant la véritable lune). Leur analyse a été faite en deux temps, faisant l'objet de deux articles à un an d'intervalle dans la revue espagnole STENDEK (16)(33). La première étude, réalisée par l'auteur de ce rapport avec des moyens photographiques conventionnels, avait été relativement détaillée mais n'avait pu mettre en évidence le phénomène de réflexion ; elle n'avait donc abouti à aucune explication. La seconde étude, réalisée à l'aide de moyens informatiques spécialisés par le groupement américain GSW, a conclu de façon définitive, en mettant notamment en évidence sur les images le contour polygonal du diaphragme.

Il est intéressant de noter qu'au cours de la démarche suivie pour la première étude, la question s'est posée de vérifier l'impression visuelle initiale très nette que le nuage du cliché B recouvrait la petit source lumineuse (ce qui impliquait que l'altitude de cette source fût supérieure à celle du nuage).

La technique photographique de renforcement de contours présentée au paragraphe III.2.2. a été utilisée, et le résultat a montré sans ambiguïté que, contrairement à l'impression initiale, "l'objet" était plus proche que le nuage (ce qui est rassurant puisqu'il s'agit d'un reflet à l'intérieur de l'appareil photo !).

Agrandissement du cliché B

Renforcement des contours



ANNEXE 3 : EFFET D'OPTIQUE A MARSEILLE

L'étude de ce cas a fait l'objet d'un court article dans la revue OURANOS (34). Il reposait sur deux photographies en noir et blanc faites de nuit dans la rue par un témoin qui affirmait avoir observé une "masse lumineuse" au-dessus d'un bâtiment. Les deux clichés étaient presque identiques.

L'un des clichés d'origine

Renforcement des contours

Des agrandissements sur papier transparent réalisés avec un très bon contraste ont permis de mettre en évidence un certain nombre d'"effets d'optique" sur les deux clichés. Des tirages mettant en jeu la technique de renforcement de contours présentée au paragraphe III.2.2. ont alors été réalisés pour mettre ces effets encore plus en relief. Il s'agit des 5 éléments suivants, repérés à l'aide de flèches :

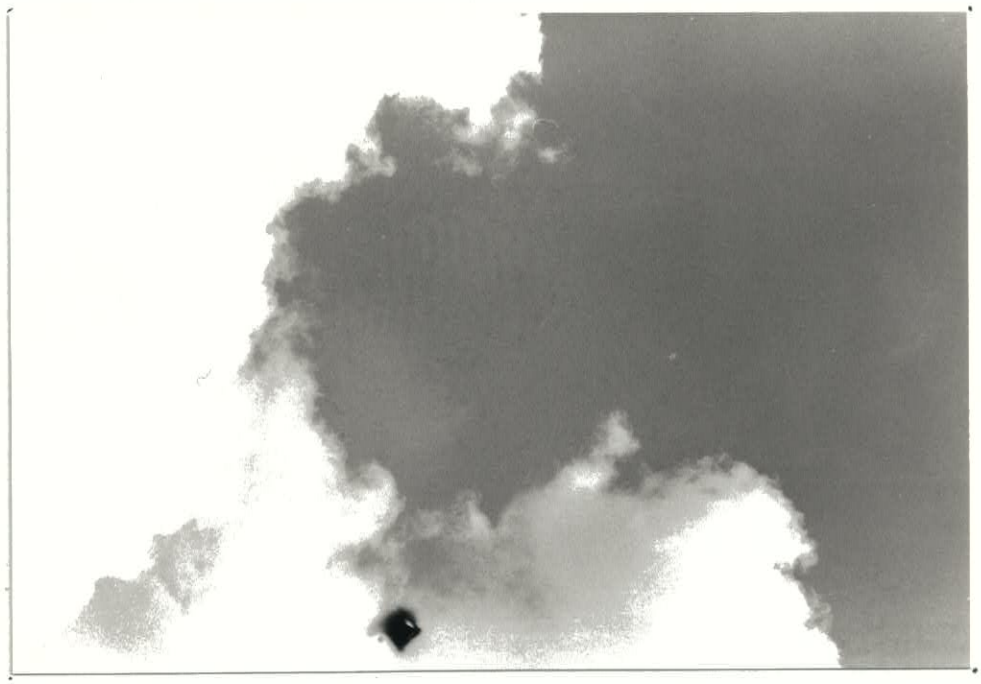
A : l'"OVNI"
B : un halo qui le surmonte
C : un reflet, probablement du réverbère voisin
D : une sorte d'ellipse inscrite dans le cadre de la rue
E : une seconde ellipse de même nature

Sans qu'on ait pu expliquer exactement ce que sont ces 5 effets, une propriété remarquable a été vérifiée sur les agrandissements des deux clichés : il est possible de faire coïncider exactement tous les éléments réels de la scène (ce qui confirme que les deux photos ont été prises du même endroit), et les 5 effets semblent alors décalés d'une rotation entre les clichés. Il est également possible de faire coïncider exactement tous les 5 "effets", le reste de la scène apparaissant alors décalé d'une rotation.

Cela semble prouver que les 5 éléments observés forment un tout, qui varie en bloc d'un cliché à l'autre. Or trois d'entre eux (C, D, E) sont de toute évidence des mirages optiques, ce qui conduit à penser qu'il en est de même des deux autres.

ANNEXE 4 : "STAR EFFECT" A MADRID

La photo



Le négatif de ce cliché a été remis à l'auteur de ce rapport à Madrid en 1978. Son propriétaire avait réalisé une série de photographies du ciel madrilène, vers 18 H 30 un jour d'Août 1973, à l'aide d'un appareil CANNON équipé d'un objectif Reflex et d'un film infrarouge. N'ayant rien observé d'anormal au moment de la prise de vue, il avait découvert avec surprise que sur l'un des clichés apparaissait un "objet" étrange, puis avait rangé son négatif et l'avait oublié quelques années.

La sensibilité du film à l'infrarouge rendait plausible qu'un objet présent dans les nuages fût photographié sans être vu. Le négatif fut donc d'abord soigneusement examiné afin d'identifier un éventuel trucage (peu probable compte tenu de la démarche) ou un défaut du film. Rien d'anormal ne fut détecté à ce stade.

Une longue série de tirages et d'agrandissements sur papier très sensible fut alors réalisée par les soins d'un photographe spécialiste très expérimenté (Monsieur CASERO, de l'INTA).

L'objet apparaissait de plus en plus nettement comme une espèce de cône de 90° d'ouverture comportant deux sortes d'alvéoles ou "hublots". Certains réglages aboutissaient à des tirages où apparaissait, "derrière le petit hublot", une forme arrondie faisant penser à une tête. Le meilleur tirage évoquait même, pour la majorité des techniciens auxquels l'auteur l'a soumis sans commentaire, "la tête de quelqu'un qui regarde dans la direction de l'appareil photo à travers le hublot"...

Une fois passée une certaine émotion (l'auteur reconnaît que parmi les nombreux documents photographiques et cinématographiques qu'il a pu voir, ce cliché a représenté le cas le plus troublant), l'étude a été reprise à zéro.
Le négatif a été examiné au microscope et sous lumière rasante, et c'est alors qu'est apparu le minuscule défaut mécanique qui devait tout expliquer. Le cliché ci-dessous montre ce défaut, photographié sous un éclairage incident à 45° (lampe de 60 W, pose de 1/15s, appareil CANNON FLQL, film PLUS-X).

La chronologie reconstituée des évènements est la suivante :

1) Lors de la révélation du film, qu'il fait lui-même, son propriétaire laisse sans s'en rendre compte un coin du rouleau de film se replier et heurter l'émulsion. Le "coin" du choc correspondra aux deux "hublots".

2) Lors de la fixation, le produit chimique commence à diffuser à l'intérieur de la couche sensible à travers ces petites égratignures.

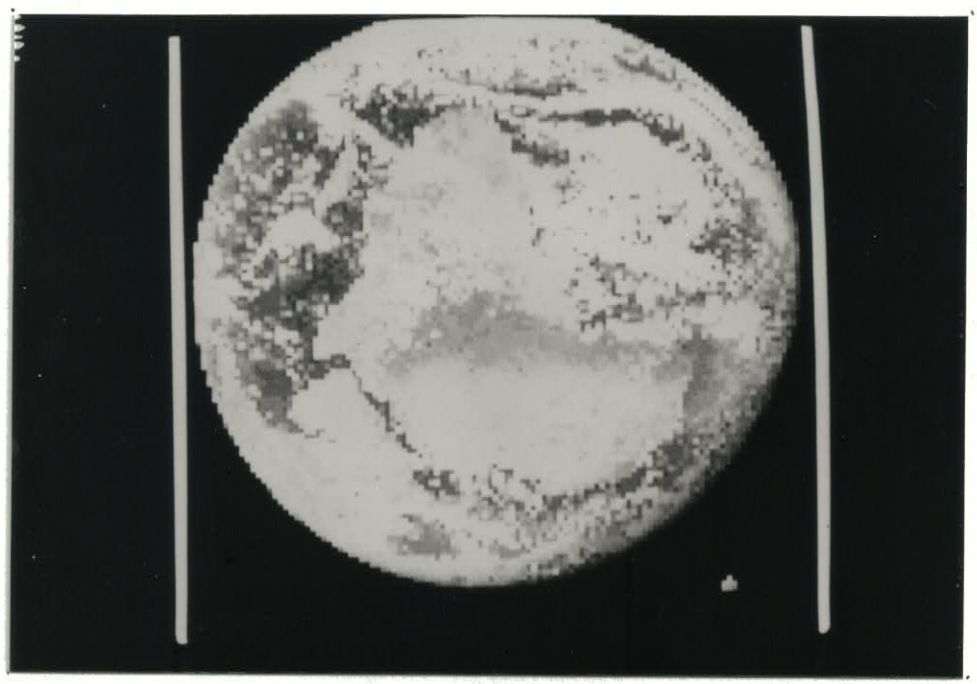
3) Le rinçage n'est pas suffisamment prolongé pour éliminer le fixateur qui continue à diffuser.

Le résultat est un bon exemple de ce que les Anglo-saxons appellent "Star effect".

ANNEXE 5 : UN SATELLITE NATUREL

L'anecdote suivante illustre, à l'aide d'un exemple peu banal, l'application du théorème de Shannon à la numérisation des images.

Cliché A



La station de l'ESA à VILLAFRANCA DEL CASTILLO a accueilli en 1978-1979 les installations mobiles de la NASA/NOAA destinées au contrôle du satellite météorologique GOES 2 (projet mondial GARP). Le matin du 13/11/78, les techniciens chargés de ces équipements voient apparaître sur leur écran de "quick-look" un petit objet en dehors de la terre (cliché A). Intrigués, ils appellent l'auteur de ce rapport et commencent à spéculer : OVNI ? satellite ? La forme apparente de l'objet évoque des panneaux rectangulaires, et la discussion porte vite sur la probabilité de rencontre d'un satellite dans le champ de l'appareil de prise de vue de GOES 2.

La bande à haute densité fut rejouée sur le "quick-look", mais avec un grand facteur de zoom, et le petit objet s'avéra être ... la lune (cliché B).
L'aspect carré de cet astre sur la première image tenait au simple fait qu'il était représenté par quelques pixels seulement, ce qui constituait évidemment un échantillonnage insuffisant au sens du théorème de Shannon.

Cliché B

ANNEXE 6 : MAQUETTE SUSPENDUE

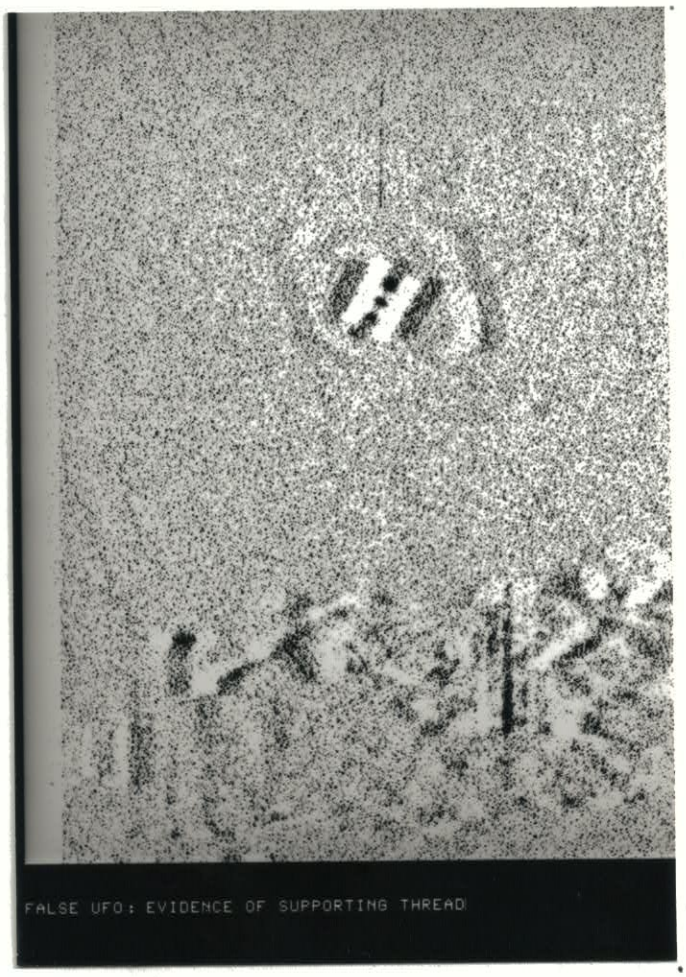
Les clichés suivants, qui ont déjà fait l'objet de la publication (18), constituent une illustration de la mise en évidence du fil de suspension d'une maquette à l'aide de moyens informatiques de traitement d'images. Une maquette accrochée à un fil a été photographiée dans de mauvaises conditions, le négatif a été numérisé, et la qualité de l'image numérique a été délibérément détériorée par calcul pour simuler de mauvaises conditions de codage ou de transmission, aboutissant ainsi à l'image "brute" de départ (cliché A).
Cette image comporte 880 x 1100 pixels codés sur 8 bits (256 niveaux de gris).

Cliché A

Cliché B

FALSE UFO: MOST DROPOUTS REMOVED + SCALE STRETCHED

Cliché C



FALSE UFO: EVIDENCE OF SUPPORTING THREAD

Cliché A : l'image comporte les défauts suivants :

- photo sous-exposée, remplissant mal la gamme de niveaux de gris
- flou vertical de l'ordre de quelques pixels
- flou horizontal, sur plusieurs dizaines de pixels, résultant d'un mouvement horizontal du photographe
- bruit additif, d'amplitude maximale de l'ordre de 2 unités en niveau de gris
- "dropouts" (points blancs) dûs à une très mauvaise transmission.

Cliché B : après analyse des niveaux de gris, on s'est aperçu que seuls des pixels isolés avaient un niveau de gris inférieur à 160. En conséquence, un seuil de 155 a été choisi, et chaque pixel de niveau inférieur à ce seuil a été remplacé par la moyenne entre ses 2 voisins horizontaux, si elle était supérieure à 155, ou par 155 dans le cas contraire. La plupart des "dropouts" a été éliminée par cette méthode très simple, ceux qui restaient correspondant à l'emplacement de "dropouts" voisins dans l'image brute. Ensuite, l'échelle des niveaux de gris a été étirée de façon à occuper tout l'intervalle 0-255 au lieu de l'intervalle 155-255.

Comme on le voit sur le cliché B, ces 2 opérations élémentaires ont beaucoup amélioré la qualité de l'image et ont rendu plus évident le flou horizontal. On note que quelques faux contours apparaissent dans le ciel.

<u>Cliché C</u> : un examen minutieux du cliché B, et en particulier des contours verticaux de la scène, suggère que le flou horizontal résulte d'une intégration sur une fenêtre de 30 à 32 pixels de large (mouvement quasi-linéaire du photographe). Pour mettre en relief une éventuelle ligne verticale de 1 ou 2 pixels d'épaisseur, les opérations suivantes ont été effectuées :

- dérivation de l'image le long de l'axe horizontal
- corrélation du résultat avec la dérivée d'une fenêtre négative de 31 pixels de large
- seuillage du résultat, pour produire une image binaire.

Le résultat de ces opérations laisse apparaître un peu de bruit et de vagues contours de la scène en négatif, et surtout fait ressortir la présence du fil. Cette étape marquerait normalement la fin de l'analyse, et le cas serait classé comme une supercherie de plus.

REFERENCES

(1) POHER C. - "Un exemple d'analyse de clichés d'O.V.N.I. : l'étude des photographies de McMINVILLE (USA)" Note N° 43/CT/GEPAN (7/6/77).

(2) BOUGARD M. - "Le dossier photo : Barra da Tijuca, Brésil". Inforespace n° 18 - p. 22-34 - (1974).

(3) "January UFO photos become IFOS" - CUFOS Associate Newsletter - Vol. 3 - N° 6 - p. 5-6 - (Décembre 82 - Janvier 83).

(4) ENCYCLOPEDIA UNIVERSALIS, Vol. 12 (PHOTOMETRIE).

(5) VASSY E. - "Physique de l'atmosphère - Tome 3 : Phénomènes d'absorption et de diffusion dans l'atmosphère" - Gauthier-Villars éditeur (1966).

(6) KNOWLES MIDDLETON W.E. - "Vision through the atmosphere" - University of Toronto Press (1952)

(7) LANGFORD M.J. - "Basic photography" - The focal press (1965)

(8) "A Nocturnal Light Close Encounter" - International UFO Reporter - Vol. 7 - N° 2 - p. 5-7 - (Mars 1982).

(9) "March-April cover photo mystery solved" - International UFO Reporter - Vol. 7 - N° 4 - p. 4-5 - (Juillet-Août 1982).

(10) HENNEL P. - "The Pointa Do Farol photograph" - Flying Saucer Review - Vol. 19 - N° 3 - p. 14 - (Juin 1973).

(11) "Is a UFO buzzing the president's helicopter ?" - International UFO Reporter - Vol. 3 - N° 8 - p. 10 - (Août 1978).

(12) VANCE A. - "The Oregon photo" - Flying Saucer Review - Vol. 19 - N° 2 - p. 3-6 - (Mars-Avril 1973).

(13) MEESSEN A. - "Analyse de la photo d'Orégon" - Inforespace N° 17 - p. 23-29 - (1974).

(14) VERTONGEN J.L. - "Une photo belge sous la loupe" - Inforespace N° 29 - p. 24-28 - (Septembre 1976)

(15) DRUFFEL A. - "The Yorba Linda photograph" - Flying Saucer Review - Special N° 5 - p. 26-35 - (Novembre 1973).

(16) LOUANGE F. et CASERO J.L. - "Estudio de las fotografias de las dos lunas de Barcelona" - Stendek N° 40 p. 2-6 (Juin 1980).

(17) POHER C. / ADRIAN F. et SPAULDING W. - CUFOS Bulletin - Spring 77.

(18) LOUANGE F. - "Digital UFO picture analysis" - UFO Phenomena - Vol. IV - N° 1 - p. 19-48 - (1980).

(19) SPAULDING W. et ADRIAN F. - "Usage of computer photographic evaluation techniques" - U.R.I.P. Vol I - N° 1 - p. 11-24 - (1982).

(20) PRATT W. - "Digital Image Processing"- Wiley-Intersciences. (1977).

(21) ANDREWS H. - "Computer Techniques in Image Processing" - Academic Press, N.Y. - (1970).

(22) "UFO Investigation" - BUFORA - Chap. 5 : Photography - (Février 1979).

(23) HENDRY A. - "The UFO Handbook" - Chap. 16 : Photography - p. 200-210 - Doubleday & Company, Inc - (1979).

(24) SPAULDING W. - "Observational data of an anomalistic aerial phenomenon" - Flying Saucer Review - Vol. 22 - N° 1 - p. 12-17 - (Mai 1976).

(25) RONCORONI G. - "Caso Niotti : el analisis del Ground Saucer Watch" - Stendek N° 38 - p. 28-32 - (Décembre 1979).

(26) BOUGARD M. - "Mc Minville : au bénéfice du doute" - Inforespace N° 55 - p. 24-34 - (Février 1981).

(27) POHER C. - "Détermination de l'ordre de grandeur de la puissance d'une source lumineuse à partir de l'examen de clichés photographiques" - Note N° 35/CT/GEPAN - (23/6/77).

(28) "Technical details on the frame analysis" - International UFO Reporter - Vol. 4 - N° 2 - p. 4. (Août 1979).

(29) GUERIN P. - "Warminster photographs" - Flying Saucer Review - Vol. 16 - N° 6 - P. 7-8 - (Novembre-Décembre 1970).

(30) LOUANGE F. - "Méthode d'extraction de spectres sur des clichés obtenus à travers un réseau de diffraction" - Convention CNES N° 81/758 - (Janvier 1982).

(31) LOUANGE F. - "Système d'acquisition et d'analyse de spectres photographiques. Le point sur l'utilisation des réseaux de diffraction" - Note technique N° 18 du GEPAN - (Mars 1983).

(32) VERTONGEN J.L. - "Dossier Ufaux" - Inforespace N° 33 - p. 14-16 - (Mai 1977).

(33) ADRIAN F. et SPAULDING W. - "Mas sobre el caso de las dos lunas de Barcelona" - Stendek N° 44 - p. 5-6 - (Juin 1981).

(34) LOUANGE F. - "Dossier photo" - Ouranos N° 27 - p. 36-38 (1979).