

*François Louange
Consultant*

Analyse d'une photo numérique de PAN

CHAMBLEY (54) 5 août 2007

21 mai 2008

SOMMAIRE

1	CONTEXTE.....	3
2	DONNEES EXTERNES	4
2.1	LOCALISATION SPATIO-TEMPORELLE DE LA PHOTO	4
2.2	DONNEES SUR LA SCENE PHOTOGRAPHIEE.....	4
2.3	TEMOIGNAGES ET AUTRES ENREGISTREMENTS	5
3	DONNEES TECHNIQUES	6
3.1	CARACTERISTIQUES DE L'APPAREIL DE PRISE DE VUE	6
3.2	PARAMETRES DE PRISE DE VUE	7
4	PHOTO INTERPRETATION DE L'IMAGE	7
5	ANALYSE QUANTITATIVE DE L'IMAGE	7
5.1	MESURES GEOMETRIQUES.....	7
5.2	ESTIMATIONS DE LUMINANCE	10
5.3	ÉVALUATION DE LA NETTETE (FTM).....	14
6	EXISTENCE D'UN STIMULUS EXTERNE	15
7	PRESENCE D'UN OBJET MATERIEL DANS LE CHAMP	17
8	CONCLUSION	17

1 CONTEXTE

Une compétition de montgolfières Mondial Air Ballon 2007 a eu lieu, comme tous les ans, sur l'ancienne base militaire de Chambley-les-Bussières (Meurthe-et-Moselle) en août 2007.

L'un des participants à cette manifestation, qui a pris 120 photos avec son APN Nikon D200, en a extrait une, datée du 5 août, sur laquelle apparaît en haut à gauche dans le ciel, parmi les montgolfières, un objet très différent et non identifié.

La photo est reproduite ci-dessous, ainsi qu'un zoom sur l'objet non identifié.



Photo de Chambley



Zoom sur l'objet non identifié de Chambley

2 DONNEES EXTERNES

2.1 Localisation spatio-temporelle de la photo

Les premières informations requises pour l'analyse d'une photo concernent le lieu, la date, et l'heure précise où elle a été prise.

Toutes les données de localisation dans l'espace (lieu de la compétition) et dans le temps (19h14, heure locale) ont été fournies spontanément par l'auteur de la photo – prise à contre-jour en fin de journée, par très beau temps.

On notera cependant un désaccord sur l'année, entre le témoignage (2007) et la datation enregistrée avec les métadonnées EXIF (2006). Il s'agit probablement d'une erreur de saisie initiale sur l'APN de la part de l'opérateur.

2.2 Données sur la scène photographiée

En fonction des circonstances et de l'environnement, il faut essayer d'identifier les éléments apparaissant dans le champ de la photo – surtout ceux qui peuvent servir de points de comparaison géométrique ou photométrique – et de leur associer des dimensions chiffrées (tailles, distances de l'APN, surfaces), en vue de calculs

d'interpolation ou d'extrapolation, ainsi que des caractéristiques de luminance et de couleur.

Il peut s'agir, par exemple, de bâtiments, d'arbres, de reliefs, de corps célestes (soleil, lune), de personnes.

Dans notre cas, les seuls éléments de comparaison visibles dans la scène photographiée à Chambley sont des montgolfières. Il était donc important de se renseigner sur la taille de ces objets.

Une recherche sur Internet a permis de savoir qu'une montgolfière courante avait un volume de l'ordre de 2500 m³, avec une hauteur de 20 m et un diamètre de 15m.

2.3 Témoignages et autres enregistrements

Il va de soi que toutes les informations disponibles sur le « cas » étudié doivent être recherchées, pour pouvoir effectuer des recoupements, d'éventuelles triangulations, des évaluations de taille ou de vitesse, etc.

En l'absence de témoignage oculaire, l'analyse d'une simple photo, seule source d'information, ne présente pas d'intérêt, un dossier PAN ne méritant d'être étudié avec sérieux que s'il existe au moins deux sources d'information indépendantes (Pocantico 1997).

La photo de Chambley a été rapidement connue dans les milieux ufologiques et la presse locale. Aucun témoin oculaire ne s'est manifesté mais beaucoup d'autres clichés pris à l'occasion du Mondial Air Ballon 2007 ont été rassemblés. Plusieurs semblent sans rapport avec le premier (quelques-uns sont farfelus), mais il existe une seconde photo (voir ci-dessous) qui semble bien montrer le même objet, un peu au-dessous de la nacelle d'une montgolfière.

L'existence de cette seconde photo conforte l'hypothèse de l'existence probable d'un objet évoluant au milieu ou dans l'environnement des ballons et justifie un certain investissement dans l'analyse de la photo.



Autre photo de Chambley

3 DONNEES TECHNIQUES

3.1 Caractéristiques de l'appareil de prise de vue

Toutes les données techniques sur l'appareil de prise de vue et les éventuels réglages effectués pour réaliser la photo (focale, distance de mise au point, temps de pose) doivent être recueillies.

À partir du modèle précis d'appareil, il est toujours possible d'en retrouver toutes les caractéristiques, car si l'auteur de la photo n'en dispose pas lui-même, le constructeur pourra être consulté.

Par ailleurs, les fichiers images JPEG issus d'APN sont, de plus en plus systématiquement, porteurs de métadonnées au format EXIF, qui fournissent tous les paramètres requis sur l'appareil, la date et les réglages de prise de vue. L'accès à ces métadonnées n'est toutefois possible que si le fichier image produit par l'APN n'a subi aucune transformation.

Pour ce qui nous concerne, la photo a été obtenue dans son format original, ce qui a permis la récupération des métadonnées EXIF en plus des informations détaillées déjà fournies par son auteur. Les métadonnées EXIF de la photo ont été extraites, à l'aide du logiciel Irfanview.

3.2 Paramètres de prise de vue

Les paramètres qui correspondent aux réglages et mises au point éventuellement effectués par l'opérateur doivent être recueillis auprès de lui dans la mesure du possible.

La photo de Chambley a été prise du sol, avec un appareil reflex numérique Nikon D200 réglé sur l'infini, avec un temps de pose de 1/6400 s.

4 PHOTO-INTERPRETATION DE L'IMAGE

Une fois le fichier image chargé sur son ordinateur, l'analyste peut le découvrir et se familiariser avec lui à l'aide d'un logiciel spécialisé en visualisation ou en traitement d'images. En mettant en évidence des détails de l'image, il pourra tenter de faire des rapprochements entre cette photo et des cas déjà rencontrés, de déceler d'éventuels indices et de dégager des pistes de réflexion pour aborder une analyse quantitative plus approfondie.

Les outils de manipulation d'image sont aussi classiques : zoom, renforcement de contraste, filtres de netteté (passe-haut), séparation ou renforcement des couleurs primaires.

La manipulation interactive de la photo de Chambley a essentiellement consisté à utiliser le zoom, en tirant profit de la haute résolution du document original (10 mégapixels).

A ce stade, on peut imaginer qu'il puisse s'agir d'un ballon d'enfant dégonflé, ou encore d'un gros oiseau.

5 ANALYSE QUANTITATIVE DE L'IMAGE

5.1 Mesures géométriques

Les mesures géométriques sur une photo numérique reposent sur la localisation de pixels dans l'image, qui permet de remonter à la position de points d'intérêt sur le support photosensible (matrice de photosites), et de là à la position angulaire des points correspondants dans la scène étudiée.

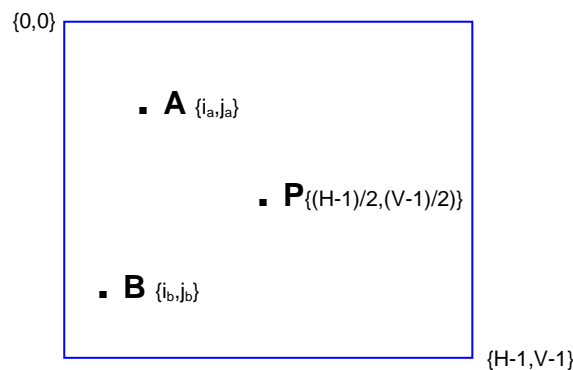
L'opération de base consiste donc à désigner un point sur l'écran à l'aide de la souris et à recueillir ses coordonnées (colonne et ligne). Cela peut être effectué sur l'image telle quelle, en pleine résolution (sa taille étant toujours supérieure à celle de l'écran, on aura recours aux ascenseurs de la fenêtre pour la parcourir entièrement), ou en

utilisant un zoom, qui permet de réaliser un pointé avec plus de précision et, parfois, de localiser le point d'intérêt à mieux qu'un pixel près.

Les coordonnées d'un point **A** en pixels sont fournies sous la forme **A** $\{i_a, j_a\}$, avec :

- i_a** : numéro de colonne, de gauche à droite de l'écran, compris entre **0** et **H-1**
- j_a** : numéro de ligne, de haut en bas de l'écran, compris entre **0** et **V-1**
- H** : nombre total de colonnes (donc de pixels à l'horizontale)
- V** : nombre total de lignes (donc de pixels à la verticale)

Les coordonnées du centre **P** de la photo étant **P** $\{(H-1)/2, (V-1)/2\}$, on en déduit les distances en pixels entre P et deux points A et B :



$$PA = \sqrt{\{ [i_a - (H - 1)/2]^2 + [j_a - (V-1)/2]^2 \}}$$

$$AB = \sqrt{\{ (i_a - i_b)^2 + (j_a - j_b)^2 \}}$$

Ces distances en pixels peuvent alors être converties en distances réelles sur le support photosensible, par simple application d'une règle de 3, si l'on dispose des dimensions physiques réelles de ce support.

Les dimensions de la matrice photosensible peuvent être obtenues directement avec les caractéristiques techniques de l'APN, ou déduites du coefficient de conversion de focale, si celui-ci est fourni, soit avec ces caractéristiques, soit avec les métadonnées EXIF associées à la photo (cela dépend des constructeurs).

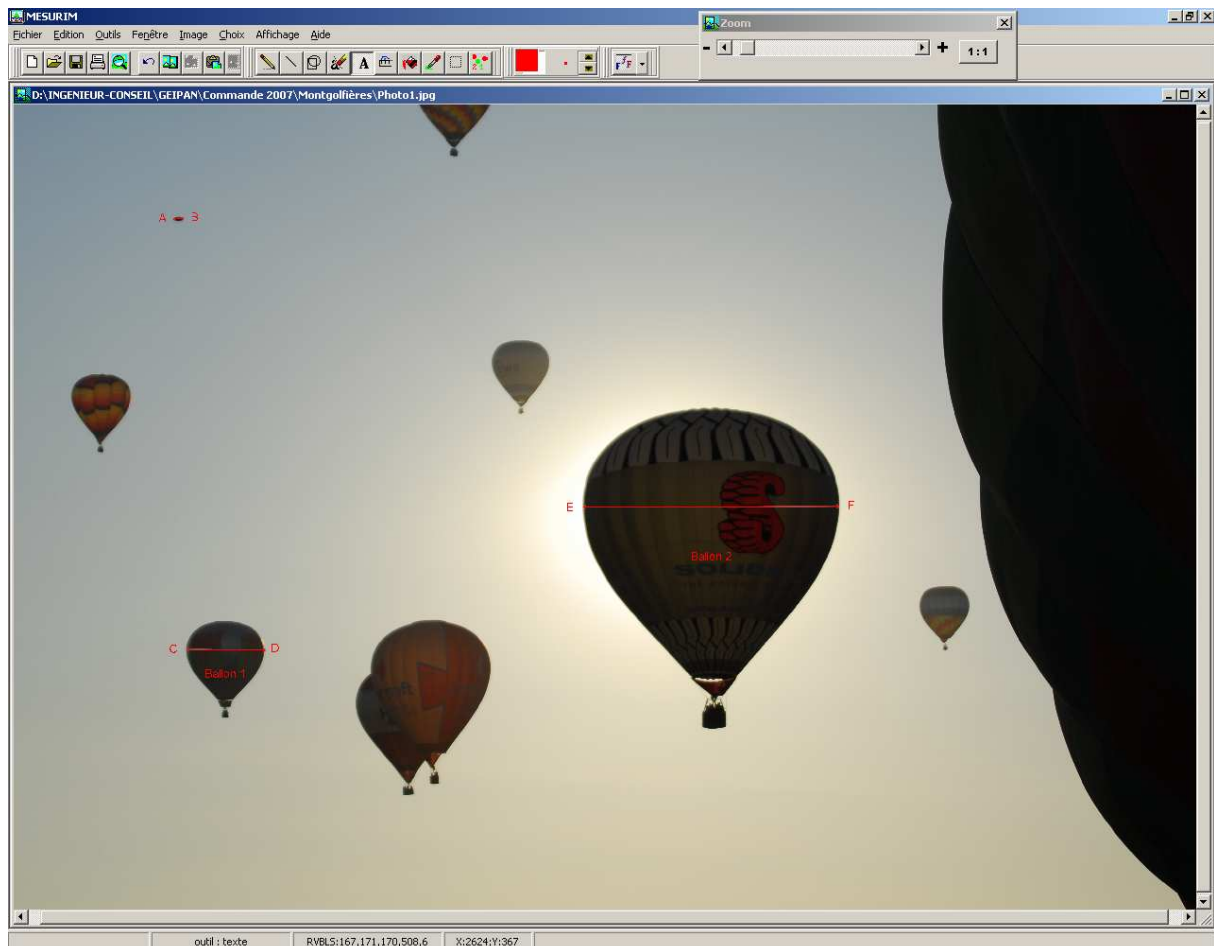
Il faut garder à l'esprit que ce coefficient de conversion s'applique à la diagonale des rectangles (ou carrés) que constituent les capteurs. Généralement, il correspond au ratio de la diagonale du format argentique standard 24x36 mm – soit 43,3 mm – par la diagonale de la matrice de photosites de l'APN.

À partir des dimensions réelles sur le support photosensible et de la distance focale, les différents calculs de dimensions angulaires, puis les éventuelles estimations de dimensions absolues peuvent être effectués

Les mesures de tailles angulaires intéressantes sur la photo de Chambley concernent la plus grande dimension apparente de l'objet non identifié (nous parlerons de sa « longueur ») et les montgolfières (nous nous intéresserons au diamètre horizontal de deux d'entre elles).

Sous Mesurim, nous avons relevé interactivement les coordonnées des 6 pixels désignés dans l'image ci-dessous (taille de l'image : 3872 colonnes, 2592 lignes) :

Extrémités de l'objet étudié :	A {550,371}	B {582,368}
Extrémités latérales du ballon 1 :	C {591,1753}	D {841,1753}
Extrémités latérales du ballon 2 :	E {1864,1288}	F {2689,1288}



Le calcul de la taille angulaire de l'objet non identifié est le suivant, en se référant aux formules indiquées précédemment (où P est le centre de la photo) :

$$PA = \sqrt{\{(550 - 1935,5)^2 + (371 - 1295,5)^2\}} = 1666 \text{ pixels}$$

$$PB = \sqrt{\{(582 - 1935,5)^2 + (368 - 1295,5)^2\}} = 1641 \text{ pixels}$$

$$AB = \sqrt{\{(550 - 582)^2 + (371 - 368)^2\}} = 32 \text{ pixels}$$

Le coefficient de conversion de focale étant égal à 1,5 et la distance focale étant de 80 mm (métadonnées EXIF), on se ramène au cas d'un appareil 24x36 mm équipé d'une focale de longueur $f = 120 \text{ mm}$.

Dans ce cadre, la dimension effective d'un pixel est égale à :

$$36/3871 \approx 24/2591 \approx 0,00928 \text{ mm}$$

d'où :

$$\begin{aligned} a = PA &= 15,46 \text{ mm} \\ b = PB &= 15,23 \text{ mm} \\ d = AB &= 0,30 \text{ mm} \end{aligned}$$

On peut calculer la taille angulaire de l'objet non identifié :

$$\delta_{\text{objet}} = \arccos[(2 \times 120^2 + 15,46^2 + 15,23^2 - 0,30^2) / 2 \sqrt{\{(120^2 + 15,46^2)(120^2 + 15,23^2)\}}]$$

$$\delta_{\text{objet}} = 0,14^\circ$$

De la même façon, on calcule la taille angulaire (diamètre horizontal) des deux ballons de référence :

$$\delta_{\text{ballon1}} = 1,10^\circ$$

$$\delta_{\text{ballon2}} = 3,65^\circ$$

5.2 Estimations de luminance

Les données directement mesurables qui quantifient la lumière reçue par un pixel donné de l'image numérique sont celles du niveau de gris (en noir et blanc) ou des niveaux respectifs dans les 3 couleurs primaires (rouge, vert, bleu). Ces valeurs traduisent la *luminance apparente* des points correspondants de la scène, mais avec les limitations présentées précédemment.

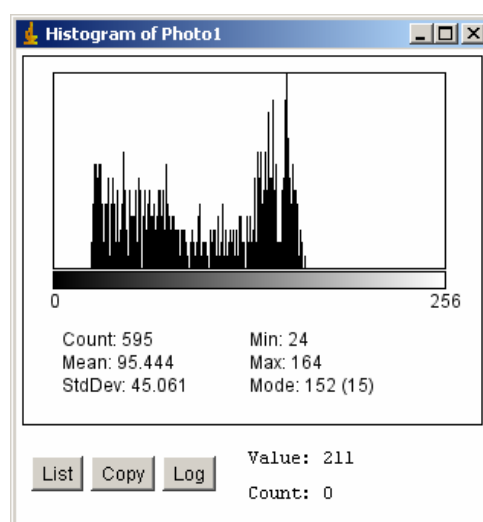
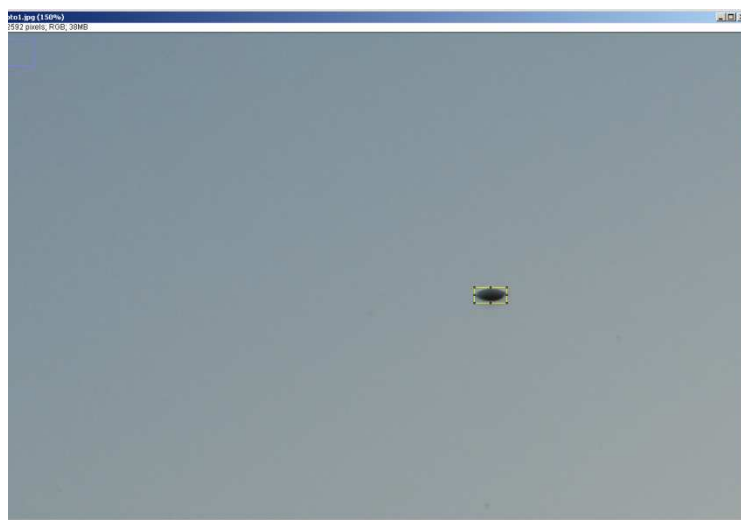
On ne peut donc, dans ce domaine, que faire des estimations et des classements par valeurs croissantes ou décroissantes de luminance apparente. Cela peut néanmoins suffire pour réaliser une interpolation approximative et estimer une fourchette de distances possibles entre un objet et l'objectif.

On utilisera, pour ce type de mesure, un logiciel de visualisation ou de traitement d'image permettant de recueillir les niveaux associés à un pixel désigné sur l'écran à l'aide de la souris, ou la répartition des valeurs de ces niveaux sur une zone donnée

de l'image, sélectionnée graphiquement sur l'écran, ou encore le tracé de l'évolution de ces niveaux le long d'un segment désigné (coupe photométrique).

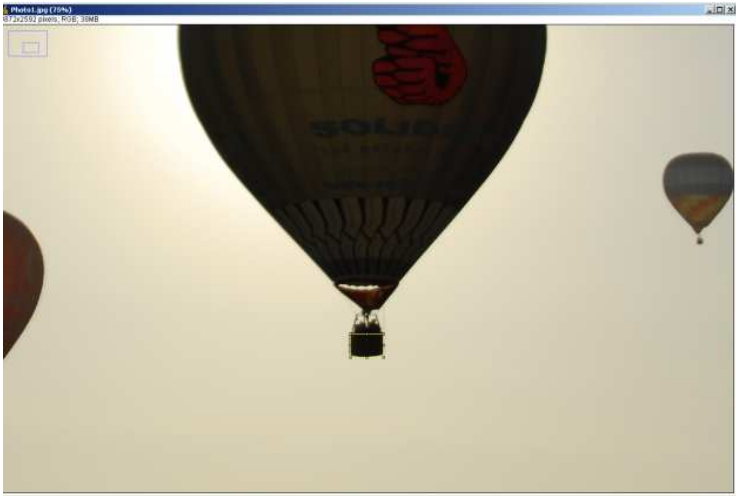
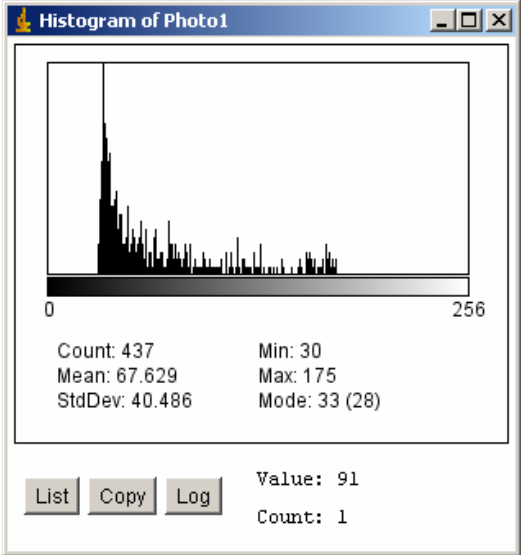
La photo de Chambley est prise à contre-jour et on peut considérer que les parties les plus sombres des objets de la scène sont soumises aux variations de luminance apparente dues à la diffusion atmosphérique. On s'intéressera donc à la partie sombre de l'objet étudié, ainsi qu'aux parties sombres des nacelles des deux ballons de référence.

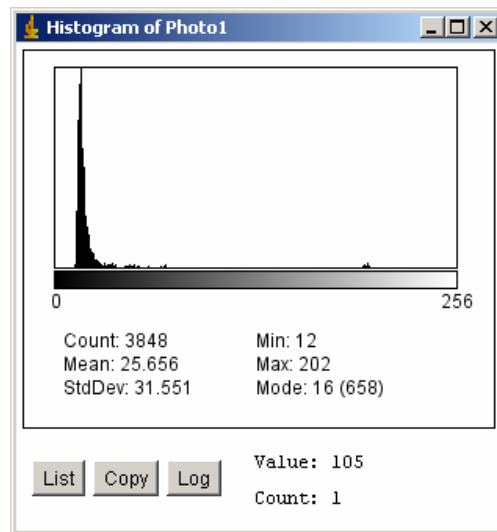
Dans une approche très empirique, on se contentera de relever les valeurs respectives des pixels les plus sombres dans chacune de ces trois zones, en utilisant à cette fin, sous ImageJ, l'outil d'analyse de l'histogramme des pixels inclus dans une zone choisie.



Niveau sombre objet = 24

On fera de même pour les nacelles des 2 ballons de référence.





Niveau sombre $_{ballon1} = 30$

Niveau sombre $_{ballon2} = 12$

En faisant l'hypothèse – vraisemblable – que l'objet étudié et les deux nacelles de référence sont bien des corps sombres, on déduit que l'objet se trouvait à une distance de l'appareil photo comprise entre celle du ballon 1 et celle du ballon 2. Or ces distances peuvent être évaluées, si l'on suppose que ces deux ballons ont un diamètre standard $\Phi = 15 \text{ m}$:

$$\text{Distance}_{ballon1} = (\Phi/2) / \tan(\delta_{ballon1} / 2) \quad \text{soit :} \quad \text{Distance}_{ballon1} = 391 \text{ m}$$

$$\text{Distance}_{ballon2} = (\Phi/2) / \tan(\delta_{ballon2} / 2) \quad \text{soit :} \quad \text{Distance}_{ballon2} = 118 \text{ m}$$

En interpolant linéairement sur les niveaux des pixels les plus sombres (approche empirique), on obtient une estimation de la distance de l'objet non identifié :

$$\text{Distance}_{objet} = 300 \text{ m}$$

On en déduit une estimation de sa longueur réelle :

$$\text{Longueur}_{objet} = 2 \times 300 \tan(0,14\%) \quad \text{soit :}$$

$$\text{Longueur}_{objet} = 0,73 \text{ m}$$

Compte tenu des incertitudes et des approximations de calcul, on conclura avec prudence que la longueur de l'objet – s'il était réellement sombre* – devait être comprise **entre 50 cm et 1 m**.

* s'il était – en réalité – plus clair, sa longueur ne pouvait être qu'inférieure à cette évaluation.

5.3 Évaluation de la netteté (FTM)

L'évaluation de la netteté des contours d'un objet, en dehors du cas d'un flou de bougé (qui doit être analysé au cas par cas), peut être requise pour l'estimation de la distance de cet objet, dans le cadre de deux démarches distinctes.

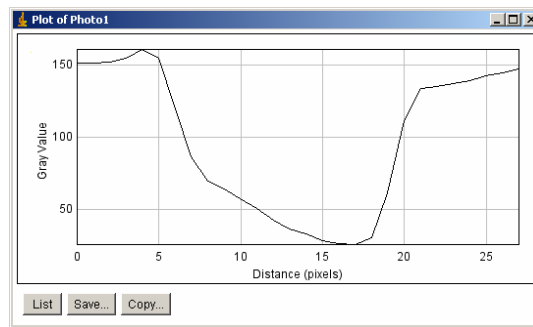
D'une part, si l'objet se trouvait en dehors de la profondeur de champ, il apparaît forcément plus flou sur la photo que les objets situés à l'intérieur de cette profondeur. Cela est en particulier le cas pour de tout petits objets situés très près de l'appareil, surtout s'ils sont illuminés par un flash (voir de nombreux dossiers photographiques montrant des « orbes »).

D'autre part on constate parfois, à l'intérieur de la profondeur de champ, que la netteté apparente des contours d'un objet se détériore progressivement au fur et à mesure que cet objet s'éloigne, en raison de la diffusion atmosphérique : la couche d'atmosphère traversée est caractérisée par sa FTM, qui agit comme un filtre passe-bas dans le domaine des fréquences spatiales, ce phénomène étant plus ou moins mesurable en fonction des conditions météorologiques. La comparaison des contours de l'objet étudié avec ceux d'autres objets situés à des distances connues ou estimées de l'appareil permet alors de resserrer la plage des distances possibles. Le seul moyen empirique simple d'estimer la netteté d'un contour est de visualiser une coupe photométrique (ou coupe radiométrique – de la même nature que la coupe densitométrique pratiquée en photographie argentique) perpendiculaire à ce contour. En effet, le spectre de fréquences spatiales est lié par transformation de Fourier, dans l'espace bidimensionnel de l'image, à la *réponse impulsionnelle* (image restituée d'une source de lumière ponctuelle), qui elle-même peut être approchée sous forme monodimensionnelle par la réponse, dans une direction donnée, à la fonction « marche d'escalier » que constitue la discontinuité du contour d'un objet.

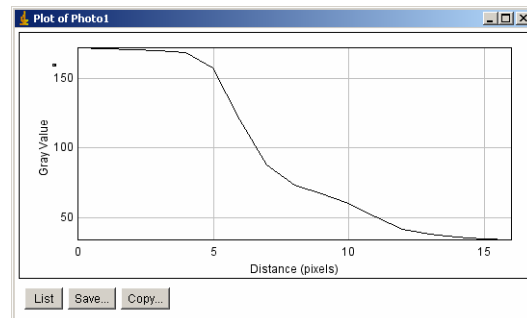
En pratique, plus la courbe de transition des niveaux de gris, de part et d'autre d'un contour, s'étale sur une grande largeur en pixels (autrement dit : plus la pente de la transition est faible), plus l'image a été dégradée par la FTM de l'atmosphère, donc plus l'objet se trouvait éloigné (épaisseur atmosphérique plus importante), toutes choses étant égales par ailleurs.

Là encore, il n'est souvent possible d'envisager qu'une interpolation approximative entre les « réponses » des contours de plusieurs objets de la scène, permettant de les « classer » par ordre de distance croissante.

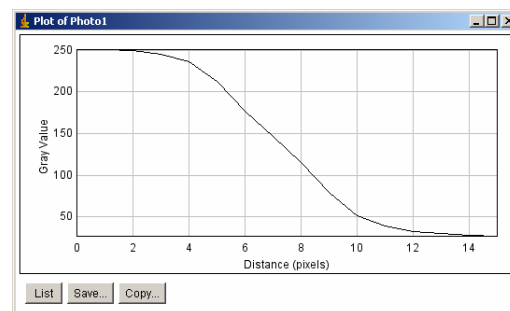
Les conditions météorologiques de la photo de Chambley, avec une excellente visibilité, ne permettent pas la mise en évidence d'une dégradation de la netteté des contours (FTM) par la diffusion atmosphérique.



Objet



Ballon 1



Ballon 2

En effet, les pentes maximales de coupes photométriques perpendiculaires aux contours respectifs de l'objet non identifié et des deux ballons de référence sont à peu près égales, de l'ordre de 34 niveaux/pixel.

6 EXISTENCE D'UN STIMULUS EXTERNE

L'existence d'un stimulus extérieur à l'appareil de prise de vue sera établie par élimination des différentes causes internes possibles.

Les causes internes habituelles peuvent être énumérées, en partant de la liste déjà connue pour les photos argentiques, à l'exception des problèmes mécaniques ou chimiques affectant le film, qui n'ont pas leur équivalent en numérique :

- Exposition multiple (superposition de 2 ou plusieurs prises de vues) : ce problème, fortuit ou voulu, se présente parfois en photographie argentique, et peut d'ailleurs être mis en évidence par un examen approfondi (au

microscope) de la disposition et de la taille des grains sur le film. Mais en dehors de certains APN, qui offrent une possibilité d'exposition multiple délibérée, ce type d'accident est exclu, par construction, en photographie numérique.

- Réflexions optiques parasites : selon la configuration du bloc optique dans l'appareil et la présence ou non de traitement antireflet sur l'objectif, des réflexions parasites peuvent parfois survenir à côté de l'image d'une source lumineuse, laissant souvent apparaître un contour polygonal (diaphragme). Ils sont en général assez faciles à mettre en évidence.

Il existe aussi, en présence de sources lumineuses intenses (soleil, projecteur) des cas de réflexions multiples et complexes laissant apparaître des formes lumineuses parasites complexes très arrondies, rappelant parfois les courbes mathématiques appelées *caustiques*.

- Fuites de lumière : lorsque l'obturateur présente un défaut de fermeture, il laisse parfois passer un peu de lumière, ce qui se traduit par des photos où apparaît une traînée de lumière de forme quelconque (reflétant le mouvement de l'opérateur juste après sa prise de vue) qui semble émaner d'une source lumineuse. Cette traînée apparaît même en pointillés lorsque la source est une ampoule électrique alimentée en courant alternatif (50 Hz) et que le mouvement de l'opérateur a été suffisamment rapide.
- Défaut de propreté de l'objectif : pour mémoire, si l'objectif est très sale ou rayé, les photos peuvent être dégradées, notamment en netteté (FTM). L'état de l'objectif peut être vérifié a posteriori.
- Pixel(s) défectueux : dans un APN, il arrive qu'un pixel soit endommagé, produisant alors systématiquement un point noir à son emplacement dans les photos. Ce type d'incident est facile à mettre en évidence par rapprochement entre plusieurs photos issues du même appareil.
- Les défauts spécifiquement générés par l'algorithme de compression des images numériques affectent essentiellement la couleur et consistent généralement en moirés apparaissant sur des surfaces relativement unies.
- Les montages photographiques par incrustation dans l'image d'un ou plusieurs éléments étrangers à la scène font évidemment partie des cas où il n'y avait aucun stimulus réel dans la scène.

La mise en évidence de ce type de supercherie doit s'appuyer sur des critères de cohérence : luminance, couleur, albédo, netteté (FTM), ombres, éventuel flou de bougé de l'opérateur.

En ce qui concerne la photo de Chambley, on peut aisément exclure toutes les causes classiques de fausse manœuvre, ainsi que l'hypothèse d'un trucage, compte tenu de la technologie de l'APN utilisé, de la démarche coopérative de son auteur et – principalement – de l'existence d'au moins un autre cliché pris indépendamment, et dont l'étude (non reproduite ici) montre une bonne cohérence avec les évaluations quantitatives présentées précédemment.

7 PRESENCE D'UN OBJET MATERIEL DANS LE CHAMP

La présence effective ou non d'un objet matériel dans la scène sera établie grâce à d'éventuels indices prouvant la réalité concrète de cet objet (couleur sombre, ombre portée, éclairage cohérent avec la scène par le soleil, la lune ou toute source lumineuse artificielle).

Si un objet se trouvait effectivement dans le champ de prise de vue, c'est-à-dire à l'intérieur de l'angle solide d'observation dont le sommet était le centre de l'objectif, il pouvait être ou ne pas être dans la profondeur de champ, qui définit la fourchette de distances à l'intérieur de laquelle les éléments de la scène apparaissent nets.

On procédera donc en premier lieu à un examen de la netteté des contours (FTM).

La photo de Chambley montre un objet sombre, ce qui exclut d'emblée l'hypothèse d'un phénomène purement lumineux.

Tous les objets visibles dans la scène photographiée sont suffisamment éloignés de l'appareil de prise de vue, qui était focalisé à l'infini, pour que l'on soit certain qu'ils étaient tous à l'intérieur de la profondeur de champ.

8 CONCLUSION

On peut conclure, si les hypothèses indiquées au cours de l'étude sont justes, que la photo de Chambley montre la présence d'un objet de forme oblongue, d'une taille comprise entre 50 cm et 1 mètre et se situant à une distance d'environ 300 mètres du photographe.

L'existence du second cliché, totalement indépendant du premier, exclut l'hypothèse d'un défaut interne à l'appareil ou celle d'un trucage.

L'objet photographié n'a pas été formellement identifié, mais, compte tenu de ce qui précède, il pourrait s'agir d'un ballon d'enfant dégonflé ou peut-être d'un gros oiseau. Seule une enquête approfondie sur place permettrait de déterminer le caractère plausible ou non de ces deux hypothèses.