Expériences simples de densitométrie

par Daniel CORDIER
Cycle Préparatoire Intégré
École Nationale Supérieure de Chimie de Rennes - 35000 Rennes

Les manipulations de densitométrie ne sont pas toujours très faciles à mettre en œuvre, cet article propose une méthode utilisant du matériel courant. Les expériences consistent à établir la courbe de noircissement d'un film photographique, elles peuvent être intégrées à l'option «Sciences expérimentales» de première S (module C5 : «La photographie»), ou aux activités d'un club-photo.

1. INTRODUCTION

On ne fera ici aucun développement sur les théories de la densitométrie et de la photométrie, pour d'éventuels approfondissements le lecteur est renvoyé à la bibliographie. Il convient cependant de faire quelques rappels.

Après une exposition à la lumière et un traitement chimique approprié un film photographique présente un certain «noircissement», ce qui peut être traduit par son coefficient de transmission :

$$T = \frac{\Phi_t}{\Phi_i}$$

Φ_t étant le flux lumineux transmis par le film lorsque Φ_i est le flux lumineux incident. Ici les flux lumineux sont des puissances lumineuses. On appelle h l'énergie lumineuse reçue par unité de surface d'émulsion au cours de l'exposition on a alors : T = T(h), fonction qui caractérise le film pour un développement standard. La commodité veut qu'on ne trace pas le graphe de T = T(h) mais celui de la densité optique D = – log T en fonction de log h. On obtient ce qu'on appelle une courbe de noircissement qui a l'allure indiquée sur la figure 1.

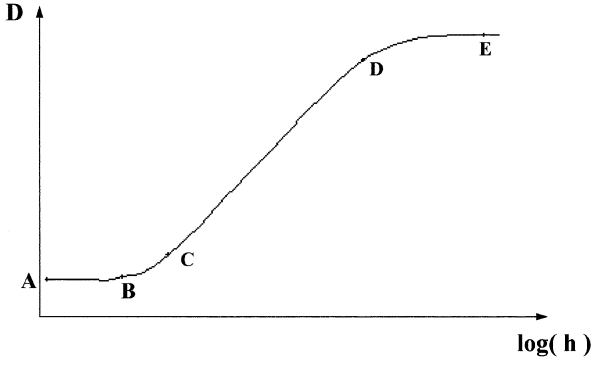

Figure 1

Les principales zones de cette courbe sont :

– AB : voile chimique et opacité du support,

– B est le seuil de l'émulsion, ce point permet de définir la sensibilité du film,

– CD : région linéaire, c'est la «partie utile»,

– DE : région de surexposition.

Le but des expériences qui vont être décrites est d'établir les courbes D = D (log(h)) pour des films de sensibilités différentes.

2. EXPÉRIENCES

2.1. Exposition des films

Cette méthode utilise un appareil photographique de format 24 × 36 mm à visée réflexe, chargé d'une émulsion noir et blanc. On réalise ainsi une série de clichés d'une surface unie, mate, éclairée uniformément (à l'aide de deux lampes de même puissance, équidistantes de la surface par exemple). Entre chaque image on fait varier l'exposition E (énergie lumineuse reçue par les $24 \times 36 = 864$ mm^2 du cliché) d'un facteur deux en agissant sur la durée d'exposition (appelée abusivement «vitesse» par les photographes) ou la taille du diaphragme. h étant uniforme sur chaque cliché on a la relation évidente : $E = h \times S$ avec $S = 864$ mm^2.

Les appareils photographiques les plus courant sont à système de mesure intégré. Ils sont construits pour qu'une surface réfléchissant

18 % de l'énergie lumineuse qui la rencontre (ce qu'on appelle un «gris moyen») soit représentée par un négatif pour lequel T = 0,18 (soit D = 0,75), ceci dans les conditions idéales d'un éclairage uniforme. Une expérience spectaculaire consiste à photographier trois surfaces : une blanche, une grise et une noire en laissant le posemètre de l'appareil agir. Sur le négatif on obtient trois images identiquement grises.

Le plus simple consiste donc à utiliser pour le premier cliché le couple diaphragme/durée d'exposition (correspondant à une valeur particulière de h qu'on notera h_0) conseillé par l'appareil. On réalise ensuite deux séries d'images : l'une en surexposition (on obtient alors des densités surfaciques d'énergie lumineuse 2 h_0, 4 h_0, 8 h_0, ...), l'autre en sous-exposition ($h_0/2$, $h_0/4$, $h_0/8$, ...). Il est évidement crucial de noter les paramètres relatifs à chaque vue.

Exemple avec le film T-MAX 400 :

cliché n°	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
h	h_0	$2h_0$	$4h_0$	$8h_0$	$16h_0$	$32h_0$
diaphragme	2	2	2	2	2	2
«vitesse»	1/250	1/125	1/60	1/30	1/15	1/8

cliché n°	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**
h	$64h_0$	$128h_0$	$256h_0$	$512h_0$	$1024h_0$	$2048h_0$
diaphragme	2	2	2	2	2	2
«vitesse»	1/4	1/2	1	2	4	8

cliché n°	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**	**18**
h	$4096h_0$	$8192h_0$	$h_0/2$	$h_0/4$	$h_0/8$	$h_0/16$
diaphragme	2	2	2	2	2,8	4
«vitesse»	16	32	1/500	1/1000	1/1000	1/1000

2.2. **Mesures du coefficient de transmission T du négatif en fonction de h**

Après le traitement chimique du développement on découpe les clichés du négatif pour les installer dans des «cadres de diapositive» (vendus en conditionnement important !). Le dispositif permettant de mesurer T est celui représenté par la figure 2.

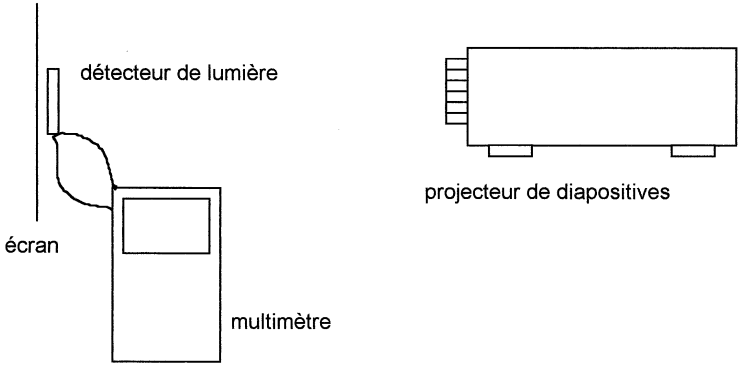

Figure 2

Le détecteur de lumière peut être une photodiode ou un phototransistor. Dans tous les cas la grandeur électrique mesurée (tension ou intensité) doit être proportionnelle au flux lumineux reçu par le détecteur. On devra donc veiller à conserver aux cours des mesures la polarisation en inverse si on utilise une photodiode. Si U est la grandeur mesurée alors :

$$U(\text{transmis}) = b \times \Phi(\text{transmis})$$

avec «b» une constante dépendant des caractéristiques du dispositif global et Φ(transmis) le flux lumineux traversant le cliché. De plus :

$$U(\text{incident}) = b \times \Phi(\text{incident})$$

(mesure de U(incident) : projecteur allumé sans diapositive ou avec cadre de diapositive seul) ainsi :

$$\frac{U(\text{transmis})}{U(\text{incident})} = \frac{\Phi(\text{t.})}{\Phi(\text{i.})} = T$$

Les mesures sont beaucoup plus difficiles à réaliser qu'il ne paraît. Elles s'échelonnent en effet sur plusieurs puissances de dix et deviennent délicates aux très petits flux lumineux. Pour améliorer les mesures il faut minimiser la distance projecteur-détecteur, prendre garde aux effets du bruit de fond (50 Hz du réseau E.D.F.), tenir compte des changements de calibre du multimètre et laisser inchangée la géométrie du dispositif durant une série de mesures.

Remarque : afin d'augmenter la sensibilité du système aux faibles quantités de lumière on peut monter en parallèle plusieurs photodiodes : voir figure 3.

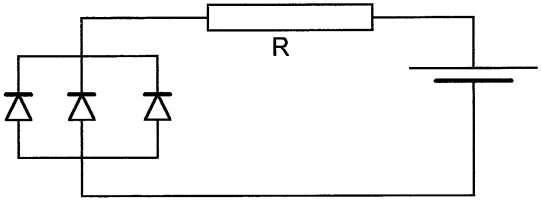

Figure 3

2.3. **Résultats**

Deux films noirs et blancs KODAK ont été expérimentés : un T-MAX 100 (de sensibilité 100 ISO) et un T-MAX 400 (400 ISO). Le développement a été assuré par du révélateur I.D.-11 (fabriqué par ILFORD) à une température proche de 20°C. Les mesures ont été réunies sur le graphique D = f(log(h)) de la figure 4.

3. **EXPLOITATION DES RÉSULTATS**

Les courbes de noircissement ont l'allure attendue, c'est rassurant ! Sur la courbe «T-MAX 100» on a fait figurer le point GM qui correspond au cliché n° 1 pour lequel on aurait du avoir D = 0,75, la valeur mesurée est un peu supérieure, ceci pouvant être causé par les imperfections de l'appareil ou de mesure. Deux exploitations possibles sont : une mesure du «gamma» et une application à la prise de vue.

3.1. **Mesure du «gamma»**

Le «gamma» γ est la tangente de l'angle que fait la partie linéaire de la courbe avec l'axe des abscisses, sa valeur traduit le contraste d'un film. Si $\gamma = 1$ le négatif a le même contraste que la scène photographiée, pour $\gamma < 1$ il est plus «doux» (c'est-à-dire moins contrasté) que le sujet et pour $\gamma > 1$ plus «dure» (contraste plus important). On cherche généralement à obtenir des négatifs avec un γ aux alentours de 0,6. Les valeurs obtenues ici sont :

$$\gamma_{\text{T-MAX 100}} \approx 0{,}7$$

$$\gamma_{\text{T-MAX 400}} \approx 1{,}1$$

Ces résultats sont en accord avec ce qui est constaté habituellement, le film le plus sensible est aussi le plus contrasté : c'est une tendance générale.

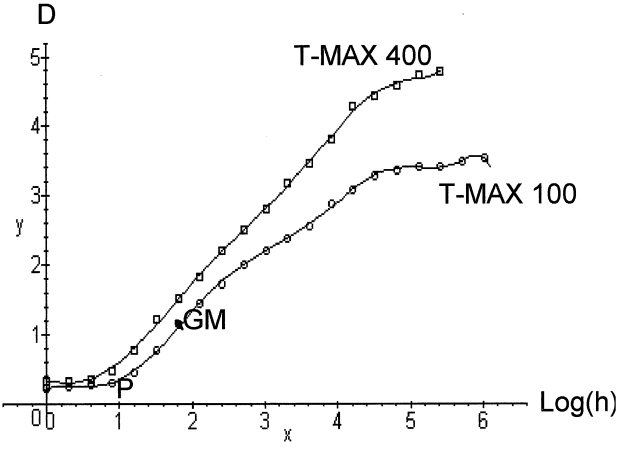

Figure 4 : La plus petite exposition (**h**) a été prise arbitrairement égale à 1 ce qui ne change rien à notre problème, et les nuages de points ont été interpolés par des polynômes grâce à la méthodes des moindres carrés.

3.2. **Application à la prise de vue**

Comme on l'a déjà indiqué, les appareils photographiques sont construits pour qu'on obtienne un négatif avec D = 0,75 (T = 0,18) suite à la prise de vue d'un sujet uniformément gris (facteur de réflexion R = 0,18) et uniformément éclairé. Dans la pratique on ne se trouve jamais dans de telles conditions. Les décors photographiés ont en général un facteur de réflexion très variable d'un point à un autre. Dans toute la suite nous ferons l'hypothèse d'un éclairage uniforme par soucis de simplicité, ce qui n'est pas rare : un paysage sous un ciel parfaitement nuageux en est un exemple.

Un appareil dirigé vers un tel paysage indique un couple vitesse/diaphragme calculé pour un sujet avec R = 0,18, en toute rigueur on doit pour faire les réglages, présenter à l'appareil une charte de gris moyen (vendue chez les commerçants spécialistes). Ainsi les objets présentant R = 0,18 seront représentés sur le négatif avec la densité correspondant au point GM de la figure 4. Ceux dont le facteur de réflexion est plus faible (objets sombres) auront une image de densité plus faible (négatif plus transparents) et inversement.

On remarque que le point GM n'est pas au milieu de la région linéaire de la courbe D = D(log h), ce qui a pour conséquence de privilégier l'enregistrement d'informations dans les hautes lumières (partie supérieure de la courbe) au détriment de celui des basses lumières qui se trouve rapidement tronqué par le «pied» horizontal de la courbe. On peut remédier à cela en surexposant le cliché par rapport aux indications initiales du posemètre ou en prévoilant préalablement l'émulsion.

Le prévoilage des films consiste à apporter à la surface sensible, avant les prises de vues, une certaine énergie lumineuse h_{AC} correspondant à la partie AC de la courbe-type représentée par la figure 1*. Le film ainsi préparé pourra enregistrer plus de détails dans les zones les plus sombres de l'image, les très basses lumières étant placées - par ce «décalage d'origine» - directement sur la partie utile de la courbe.

En photographie courante on ne suit jamais un pareil protocole. Pourtant les résultats sont généralement assez bons. Cela peut s'expliquer par un R global des scènes photographiées pas trop différent de 0,18, par l'étendue importante de la partie linéaire de la courbe et/ou éventuellement par un logiciel d'intelligence artificiel embarqué sur l'appareil (programme qui peut reconnaître des sujets «types» s'éloignant de R = 0,18 : paysage enneigé...).

De nombreux perfectionnements peuvent encore être imaginés afin d'augmenter la qualité de la prise de vue : ajustement de la pente de la partie linéaire de la courbe (influence sur le contraste de l'image) ou celui de sa longueur, etc. La densitométrie, même rudimentaire, ouvre un champ immense dans l'amélioration de l'exposition des films photographiques.

3.3. **Suggestions**

On peut étudier expérimentalement l'influence de nombreux facteurs sur les courbes de noircissement, par exemple : la nature de l'émulsion (ce qui a été fait ici), la nature du révélateur, la température du bain de révélation, la durée de révélation et l'agitation du film dans son bain. Le but n'étant pas de faire uniquement des expériences, mais aussi de pouvoir adapter ses films aux sujets photographiés.

---

* Partie précédant le point P de la courbe T-MAX 100 sur la figure 4.

4. CONCLUSION

Ce qui a été exposé ici peut être peaufiné, la méthode présente l'attrait majeur d'être beaucoup plus simple à mettre en œuvre que les protocoles classiques (à aucun moment on n'a besoin de la chambre noire, tout juste suffit-il d'être dans le noir pour charger le film dans la cuve à développement), tout en gardant des possibilités d'exploitation intéressantes.

BIBLIOGRAPHIE

– Louis VIEL : *«Densitomètre photo-électrique. Caractéristiques d'une émulsion photographique»* - B.U.P. n° 610.

– L. GAUDART : *«Densitométrie monochrome»* - B.U.P. n° 697.

– Jean CHARPIÉ : *«Traité de photographie»* - Éditions VM.

– *Encyclopaedia Universalis.*