

Les principes généraux du développe

LE PROCESSUS

P A R C L A U D E

● Voir en page 217 le "FORMULAIRE" Spécial.

On appelle « inversible » ou « par inversion » tout procédé permettant d'obtenir directement une image positive sur le support sensible (plaque, film, papier) qui a été exposé à la lumière.

Il est assez curieux de constater que la première image argentique jamais obtenue, le *Daguerréotype* de 1835, était un positif. Le procédé négatif-positif n'est venu qu'un peu plus tard en 1841 à la suite des travaux de W. H. Talbot. Les premières plaques en couleurs « *Autochromes* » de Lumière (1906) étaient obtenues par un procédé d'inversion assez analogue au procédé moderne, inventé, semble-t-il, par C. Russel en 1862.

Il est paradoxal que l'on ait pris l'habitude de parler d'inversion lorsqu'on obtient directement le positif, alors que cette appellation devrait, en toute logique, s'appliquer au négatif qui, lui, est bien « l'inverse » de notre vision normale des choses !..

On connaît de nombreux procédés fournissant une image positive directe. Il serait fastidieux de les citer tous, d'autant plus qu'ils n'ont, pour la plupart, qu'un intérêt théorique et ne peuvent pas fournir une image commercialement et artistiquement valable (1).

Nous ne dirons que quelques mots de l'inversion par solarisation.

Si nous prolongeons la courbe sensitométrique d'une émulsion au-delà de l'épaule (fig. 1), nous constatons que, pour des luminations croissantes, les densités, après être passées par un maximum, décroissent.

Le long de la courbe **d-d'**, une augmentation de lumination se traduit par une diminution de densité; l'image obtenue aura donc, théoriquement, les mêmes valeurs que le sujet et sera positive. En réalité, le positif ainsi obtenu n'est pas exploitable car :

● Il nécessite des durées d'exposition considérables (10 000 à 100 000 fois la lumination nécessaire pour obtenir le négatif normal) soit par exemple plusieurs minutes au lieu de quelques dixièmes de seconde.

(1) Un récent article de MM. J. A. C. Yule et R. E. Maurer, des laboratoires de recherches Eastman de Rochester (The nomenclature of photographic reversal effects) (*Photogr. Sc. Engng.* - 1964, N° 5) tente d'établir une classification logique de tous les « effets d'inversion ». Nous y renvoyons le lecteur intéressé.

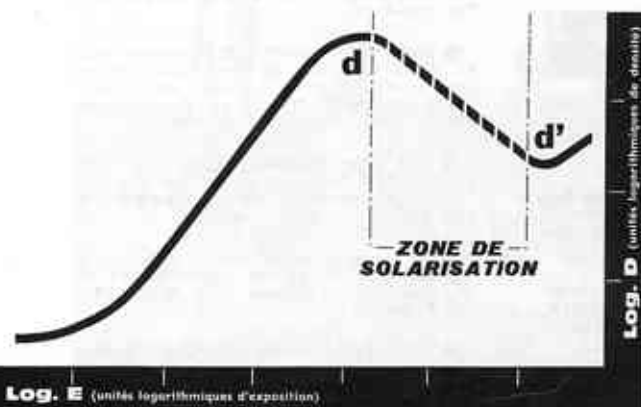


fig.
1

● Sur les émulsions modernes rapides, la zone de solarisation est très réduite, et il faut la rechercher par tâtonnements.

● Il existe une densité résiduelle importante qui empêche l'obtention de blancs purs.

On peut, accidentellement, observer l'effet de solarisation, lorsque le soleil s'est trouvé dans le champ de prises de vues (ce qui n'est parfois guère recommandable pour l'objectif, et pour la rétine du cameraman); sur le négatif, l'image du soleil n'est généralement pas traduite par un noir intense, mais par un gris léger.

Les procédés inversibles modernes sont tous basés sur l'utilisation du bromure d'argent vierge restant dans l'émulsion, après exposition et développement, mais avant fixation.

Considérons à nouveau le sujet pris comme exemple dans la précédente étude du procédé négatif-positif (parue dans l'avant-dernier numéro) et formé de quatre bandes : noir, gris foncé, gris clair et blanc, et examinons la coupe de l'émulsion exposée en adoptant les mêmes conventions (fig. 2).

On constate que, en plus de l'image négative latente, il existe une image positive virtuelle constituée par le bromure d'argent vierge. Sous l'action d'un révélateur, l'image latente est développée et l'image positive virtuelle reste intacte. Si, à ce stade, on faisait agir un fixateur, on dissoudrait le bromure d'argent vierge, et on obtiendrait un négatif normal (2). Si, par contre, on fait agir un réactif capable de dissoudre l'argent métallique et de laisser intact le bromure d'argent, il suffit d'exposer à la lumière ce bromure d'argent et de le développer pour

(2) Cela n'est pas toujours vrai. Dans de nombreuses émulsions inversibles, la couche anti-halo est constituée par une couche d'argent colloïdal située entre l'émulsion et le support. Cet argent colloïdal est éliminé lors du traitement d'inversion au bichromate; si l'on essaye de développer comme un négatif ordinaire, l'image est noyée dans une teinte de fond grisâtre, comme si elle était voilée; ainsi les films Ferrania inversibles ne peuvent pas être développés en négatif. Quelques films Kodak, par exemple, le film Estmanna Tri-X 7278, peuvent être développés en négatif, mais cette pratique conduit à une perte de sensibilité et de finesse de grain et il vaut mieux s'en tenir aux marques ayant prévu cette possibilité d'option dès le départ comme le Dupont 932, maintenant importé en France, ou l'Orwo UP 52, à indice de sensibilité constant, qui ne l'est pas encore.

ment artisanal dans INVERSIBLE

P A S C A U D

Ingénieur-docteur E.N.S.C.M.

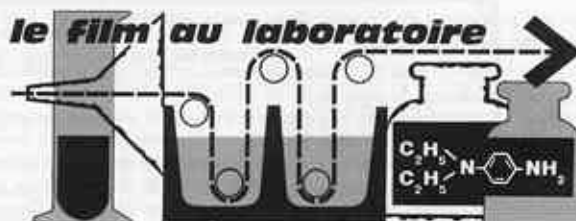
obtenir une image positive et il n'y a même plus besoin, théoriquement certes, de procéder à un fixage, puisqu'il ne reste plus de bromure d'argent dans l'émulsion...

Avant d'entrer dans le détail de ces différents stades, examinons tout d'abord la courbe sensitométrique d'une émulsion inversible (fig. 3). Elle présente le même aspect qu'une courbe d'émulsion positive ou négative, avec un pied, une zone rectiligne et une épaule, mais il est bien évident qu'elle est inversée puisqu'aux lumières du sujet correspondent les parties claires — de faible densité — de l'image, et aux ombres du sujet correspondent les parties sombres — à forte densité — de l'image.

On définit de la même façon le *gamma* comme la pente de la partie rectiligne mais l'échelle de *gamma* des émulsions inversibles est assez étroite; dans la pratique, on développe entre les gammas 0,7 et 1,5 à 1,5.

Quelles sont les conditions pour obtenir une image inversible de bonne qualité? Il faut que l'émulsion traduise les hautes lumières du sujet par des blancs « francs » c'est-à-dire de densité aussi faible que possible la limite inférieure étant constituée par la densité du support d'environ 0,10 ajoutée à la densité de voile au maximum de 0,05. Une reproduction équilibrée des gris suppose une partie rectiligne de la caractéristique sensitométrique relativement longue avec une pente voisine de 1 c'est-à-dire proche de 45°; enfin, la reproduction des ombres profondes implique des noirs profonds c'est-à-dire de densité aussi élevée que possible.

La reproduction des noirs et des gris ne pose pas de problème lorsque l'émulsion a été correctement exposée et nous verrons plus loin ce qui arrive lorsque tel n'est pas le cas. Par contre, la reproduction des blancs purs n'est pas aussi simple. En se reportant à la figure 2, on voit que la bande blanche du sujet ne sera traduite par un blanc



N° 13

pur qu'à la condition que la totalité du bromure d'argent ait été exposé, puis développé et la totalité de l'argent du négatif provisoire dissous par le bain d'inversion.

Il faut donc que le noir de l'image négative soit ce qu'il est convenu d'appeler le « noir absolu » (3) de façon à obtenir, après inversion, un « blanc total ». En pratique, on ne peut pas obtenir le noir absolu, mais un noir maximum, de densité quelque peu inférieure, que l'on appelle « noir de solarisation » car il correspond à la densité maximale

(3) Le « noir total » est la densité qui serait obtenue si tous les grains de bromure d'argent de l'émulsion étaient voilés et développés.

fig.
3

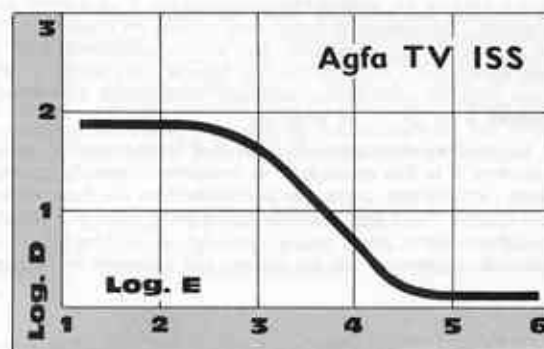
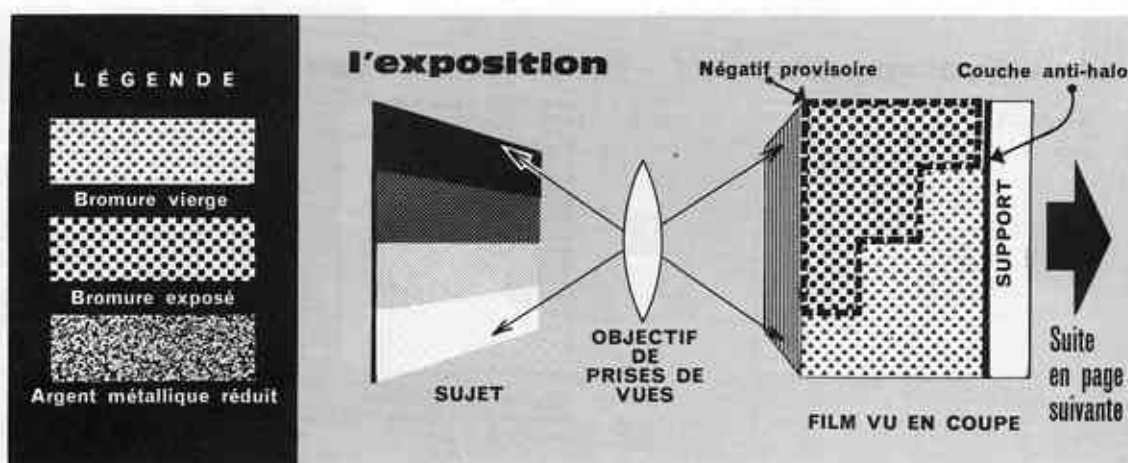


fig. 2

SCHÉMATISATION DES ÉTAPES DU DÉVELOPPEMENT DANS LE PROCESSUS INVERSIBLE

Les épaisseurs relatives de l'émulsion et du support (qui est, dans la réalité, le plus importante des deux) n'ont pas été respectées sur nos schémas pour en améliorer la lisibilité. À noter, aussi, que la couche anti-halo, située sur la face postérieure du support dans le cas d'un film négatif, l'est, par contre, « en sandwich » entre l'émulsion et le support pour un film inversible.



lue sur le sommet de l'épaule de la courbe sensitométrique, à la limite de l'effet de solarisation.

Pour rendre le noir de solarisation aussi proche que possible du noir absolu, on abaisse le niveau de ce dernier en dissolvant, pendant le premier développement, une partie du bromure d'argent en excès, en introduisant dans le premier révélateur un solvant de ce bromure; les solvants les plus utilisés sont les thiocyanates de sodium, potassium ou ammonium (quelques grammes par litre), le thiosulfate de sodium (quelques grammes par litre également) et plus rarement l'ammoniaque. Le dosage de ce solvant permet, outre le réglage du niveau de noir, la détermination du gamma, et la compensation, dans une certaine mesure, des écarts de pose comme nous le verrons plus tard.

LES DIFFÉRENTS STADES DU DÉVELOPPEMENT PAR INVERSION

● 1^{ère} phase : LE PREMIER DÉVELOPPEMENT

De ce que nous avons dit plus haut, il résulte que le premier développement a pour but :

De faire apparaître l'image négative provisoire.

D'abaisser le niveau de noir absolu au voisinage du noir de solarisation par mise en solution d'une certaine quantité de bromure d'argent.

Il doit, en outre, être poussé à fond. Supposons que, par suite d'une température trop basse, d'une durée écourtée, d'une activité trop faible, le premier révélateur laisse non développés certains grains de bromure d'argent exposés; ces grains, qui auraient dû participer à l'image négative vont survivre aux lavages, au bain d'arrêt, au bain d'inversion et de décoloration, et, sous l'action du deuxième révélateur, vont donner une image négative parasite superposée à l'image positive.

Les révélateurs utilisés pour le premier développement sont presque toujours du type « géol » (ou « Métol »)-hydroquinone, à pH élevé (9,5 à 10,5 ou 11, parfois plus), additionnés d'un solvant du bromure d'argent (thiocyanate de potassium, sodium ou ammonium, thiosulfate de sodium ou d'ammonium). Les autres constituants du **tableau 1** sont identiques à ceux qui figurent dans la composition des révélateurs pour négatifs anticalcaire, antivoile, antioxydant répertoriés dans le **tableau 3** du n° 73, en page 53.

La présence simultanée de géol et d'hydroquinone s'explique par le caractère à la fois synergique et complémentaire de ces deux réducteurs : synergique, parce que la combinaison des deux est plus active que chacun d'eux pris séparément (on parle aussi de « suradditivité »); complémentaire, parce que le géol est un développeur énergétique, qui agit rapidement sur les régions peu exposées de l'image (ombres

du sujet); il donne des images peu contrastées, mais il a une légère tendance au voile; son action est maximale pour des pH élevés (8 à 9). L'hydroquinone, par contre, donne un contraste élevé et peu de demi-teintes. Elle a son potentiel maximum vers pH 11,5.

En jouant sur le rapport géol/hydroquinone, on peut donc, dans une certaine mesure, régler la tonalité des images; par ailleurs, lorsque la température s'abaisse, l'activité de l'hydroquinone diminue plus vite que celle du géol. A 10 °C, par exemple, le géol agit pratiquement seul. Aux températures élevées, c'est l'inverse qui se produit et à 25 °C, l'action de l'hydroquinone est prépondérante. Un révélateur au géol-hydroquinone doit donc être employé de préférence à 18-20 °C.

Une autre façon d'activer l'hydroquinone consiste à lui ajouter de 5 à 10 % en poids de phénidone (4) produit bien connu des photographes car il entre dans la composition de nombreux révélateurs modernes à grain fin et à conservation prolongée.

La question de « grain » ne se pose pratiquement pas dans le cas du développement inversible, car les gros grains de bromure d'argent étant les plus sensibles à la lumière ce sont eux qui forment, en majorité, l'image négative provisoire et les plus fins restent pour constituer l'image positive définitive.

Bien que la préparation d'un premier révélateur par l'usager, à partir des formules que nous indiquerons, ne présente aucune difficulté, nous verrons qu'il est également possible de modifier très simplement certains révélateurs commerciaux vendus prêts à l'emploi, pour les rendre aptes à l'usage de l'inversible.

● 2^e phase : LE BAIN D'ARRÊT

De même que pour le traitement du négatif ou du positif, il est préférable, mais non obligatoire, de stopper l'action du révélateur par un bain d'arrêt simple (20 à 50 millilitres d'acide acétique par litre d'eau) ou tannant (30 g d'alun de chrome par litre d'eau), auquel succède un lavage de quelques minutes.

● 3^e phase : L'INVERSION OU « BLANCHIMENT » (5)

Il s'agit maintenant de détruire le négatif provisoire (constitué de grains d'argent métallique) en laissant intact le bromure d'argent vierge.

(4) La phénidone est la 1-phényl 3-pyrazolidone

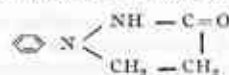
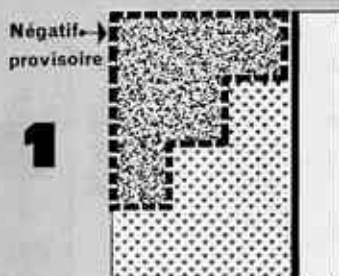
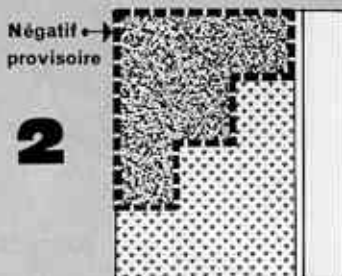


fig. 2 (suite)

le développement



le bain d'arrêt



Le négatif est normal en l'absence d'une couche anti-halo mais non fixé.

l'inversion



La couche anti-halo s'élimine



Suite en page suivante

Composition des révélateurs pour les émulsions inversibles en noir et blanc

FONCTION	PRINCIPAUX PRODUITS UTILISÉS	MODE D'ACTION	QUANTITÉS UTILISÉES PAR LITRE DE RÉVÉLATEUR
Réducteur ou développeur	Hydroquinone	Réducteur à faible potentiel.	quelques grammes
	Génol	Réducteur à haut potentiel. Renforce et complète l'action de l'hydroquinone.	quelques grammes
	Phénidone	Renforce et complète l'action de l'hydroquinone.	7 % du poids de l'hydroquinone
Alcali	Carbonate de sodium ou de potassium	Fixe le pH à la valeur nécessaire pour que le révélateur agisse. Neutralise l'acide bromhydrique produit par la réduction du bromure d'argent.	quelques dizaines de grammes
Antioxydant	Sulfite neutre de sodium	Retarde l'oxydation du révélateur par l'oxygène de l'air.	10 à 100 g
Antivoile	Bromure de potassium (benzotriazol, nitrate de 6-nitro benzimidazol)	Limite le « voile chimique » (réduction anormale de bromure d'argent vierge par le révélateur).	1 g quelques centigrammes
Adoucisseur	« Calgon » (hexamétophosphate de sodium)	Fixe le calcium des eaux dures sous forme de complexe soluble.	1 à 3 g
Tensio-actif (mouillant)	« Teepol », « Cetavlon », « Repellat »...	Facilite le mouillage de l'émulsion. Peut accélérer le développement.	quelques millilitres de solution à 10 %
POUR LE PREMIER RÉVÉLATEUR EXCLUSIVEMENT :			
Solvant du bromure d'argent	Thiocyanate de sodium Potassium ou ammonium Thiosulfate de sodium	Dissout une partie du bromure d'argent vierge pendant le développement, pour amener la densité du noir total au voisinage de la densité du noir de solarisation.	quelques grammes

Nous ne ferons que signaler pour mémoire les procédés au permanganate de potassium, au sulfate cérique et au chlorure cuivrique, pour ne parler que du procédé quasi-universel au bichromate de potassium.

Sous l'action du bichromate de potassium et en présence d'acide sulfurique, l'argent métallique se transforme en sulfate d'argent soluble dans l'eau. Le bromure d'argent n'est pas touché et reste dans l'émulsion (6).

Il se produit, en outre, une réaction parasite entre le sulfate de chrome et la gélatine qui se colore en brun. Cette coloration disparaît au stade suivant.

On utilise, en pratique, des bains contenant de 2 à 30 g par litre de bichromate de potassium et quelques millilitres d'acide sulfurique.

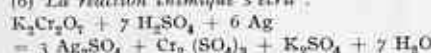
● Sous peine d'accidents graves (projections et éclaboussures d'acide très corrosif) il faut ajouter lentement et en agitant sans cesse, au moyen d'une baguette de verre, l'acide sulfurique dans l'eau et non l'inverse.

On peut, par exemple, dissoudre le bichromate dans un demi-litre d'eau, l'acide sulfurique dans un autre demi-litre d'eau, puis mélanger sans précaution spéciale, les deux solutions (7).

(5) On prendra garde de ne pas confondre les bains d'« inversion », parfois appelés bains « de blanchiment » utilisés dans le procédé inversible en noir et blanc, avec les bains « de blanchiment » utilisés pour le développement d'émulsions en couleurs.

Ces derniers sont à base de ferricyanure de potassium et de bromure de potassium. Ils retransforment l'argent métallique en bromure d'argent. Leur désignation correcte est « bains de réhalogénéation ».

(6) La réaction chimique s'écrit :



(7) Pour les personnes qui craindraient d'utiliser de l'acide sulfurique (dont il ne faut tout de même pas exagérer le danger, pour peu qu'on prenne un minimum de précautions), nous signalons qu'on peut préparer un bain d'inversion en remplaçant l'acide sulfurique par du sulfate acide

de potassium ou bisulfate de potassium ($KHSO_4$) que l'on peut considérer comme un composé d'acide sulfurique et de sulfate de potassium. Ce produit se présente sous l'aspect de cristaux blancs, corrosifs, mais infiniment moins que l'acide sulfurique lui-même. On peut, par exemple, prendre 10 g de bichromate de potassium et 30 g de sulfate acide de potassium par litre d'eau, mais l'action est lente et souvent incomplète.

La disparition de l'image négative se fait rapidement, en 1 à 3 mn à 20 °C. Il ne faut pas prolonger inutilement le séjour du film dans le bain d'inversion, sinon la gélatine prendrait une coloration brune définitive.

Comme on peut, dès que le film est immergé dans le bichromate, opérer en lumière atténuée, on suit la disparition de l'image négative en observant le film recto-verso; dès que les dernières traces noires ont disparu et que le film est bien transparent, on compte encore une minute et on retire le film du bain (9).

(8) Lorsqu'on met dans des flacons bouchés à l'émeri des solutions alcalines ou fortement chargées en sels minéraux, il est prudent, pour éviter le blocage du bouchon, d'enduire le rodage d'une très mince couche de graisse de silicones.

(9) C'est également au cours de l'inversion que s'élimine la couche anti-halo d'argent colloïdal (lorsqu'elle existe) suivant la même réaction chimique que celle indiquée dans la note 7. C'est à ce moment seulement que l'image devient transparente.