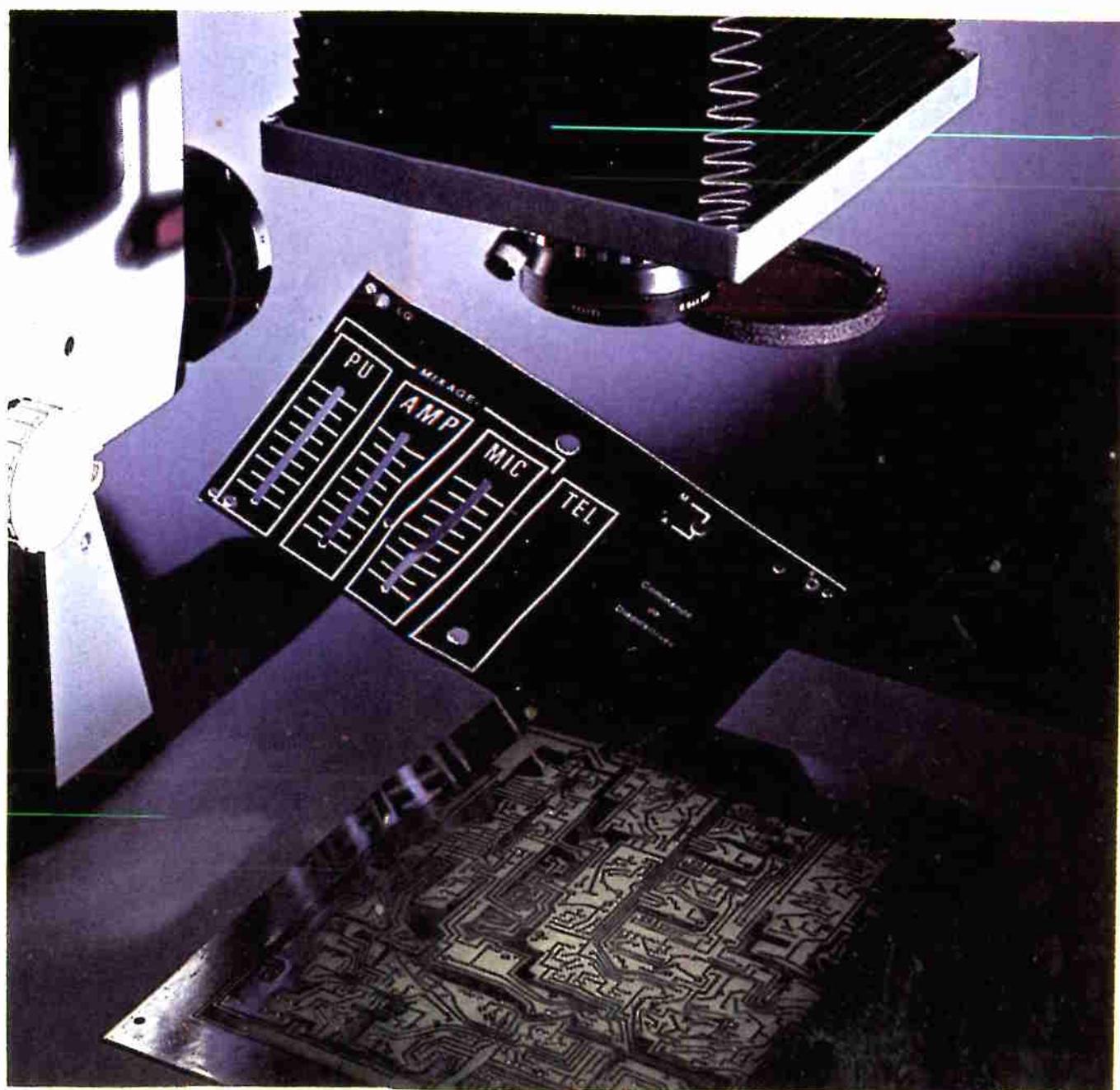


Technique poche

RÉALISEZ VOS CIRCUITS IMPRIMÉS ET DÉCORS de PANNEAUX

P. GUEULLE

ISSN 0153-0984



Editions Techniques et Scientifiques Françaises



Numérisé en Juillet 2025 par F1CJL , 300dpi

RÉALISEZ VOS CIRCUITS
IMPRIMÉS ET DÉCORS
DE PANNEAUX

DANS LA MÊME COLLECTION :

- N° 1. « 30 montages électroniques d'alarme » par F. Juster.
- N° 2. « Tables de mixage et modules de mixage »
par Siegfried Wirsum.
- N° 3. « 20 montages expérimentaux optoélectroniques »
par G. Blaise.
- N° 4. « Initiation à la microinformatique : le microprocesseur » par
P. Melusson.
- N° 5. « Montages électroniques divertissants et utiles »
par H. Schreiber.
- N° 6. « Applications des dispositifs photosensibles »
par J.-P. OEmichen.
- N° 7. « Les égaliseurs graphiques » par F. Juster.
- N° 8. « Pianos électroniques et synthétiseurs » par H. Tünker.
- N° 9. « Recherches méthodiques des pannes dans les récepteurs de
radiodiffusion » par Dr Adolf Renardy et Ing. Heinz Lummer.
- N° 10. « Les enceintes acoustiques » par M. Hemardinquer
et M. Léonard.
- N° 11. « Structure et fonctionnement de l'oscilloscope »
par R. Rateau.
- N° 12. « La construction des petits modèles de chemin de fer électri-
ques » par J.-C. Porterie.
- N° 13. « Horloges et montres électroniques à quartz »
par Horst Pelka.
- N° 14. « Les cellules solaires » par F. Juster.
- N° 15. « L'électronique appliquée au cinéma et à la photo »
par M. Horst.
- N° 16. « L'électronique dans les trains miniatures » par H. Jungmann.
- N° 17. « Réalisez vos circuits imprimés et décors de panneaux »
par P. Gueulle.

Couverture : Photo Studio S.P.E.

« La loi du 11 mars 1957 n'autorisant, aux termes des alinéas 2 et 3 de l'article 41, d'une part, que « les copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective » et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, « toute représentation ou reproduction intégrale, ou partielle, faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants-droit ou ayants-cause, est illicite » (alinéa 1^{er} de l'Art. 40). Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les Art. 425 et suivants du Code Pénal »

Patrick GUEULLE
Ingénieur EFREI

RÉALISEZ VOS CIRCUITS IMPRIMÉS ET DÉCORS DE PANNEAUX

*La photographie au service
de l'électronique*

1979

Diffusion :

ÉDITIONS TECHNIQUES ET SCIENTIFIQUES FRANÇAISES
2 à 12, rue de Bellevue, 75940 PARIS CEDEX 19

Tables des matières :

CHAPITRE 1 Les produits photosensibles utilisables en électronique	13
1. <i>Surfaces sensibles à base de sels d'argent</i>	13
1-1. <i>Les films photographiques</i>	13
1-1-1. Constitution d'un film noir et blanc	13
1-1-2. L'exposition du film	14
1-1-3. Le traitement du film négatif	16
1-1-4. Les différents types de films négatifs	18
1-1-5. Les films positifs directs	19
1-2. <i>Les papiers photographiques</i>	23
2. <i>Surfaces sensibles polymères</i>	23
2-1. <i>Les résines positives</i>	24
2-2. <i>Les résines négatives</i>	24
2-3. <i>Présentation commerciale des produits sensibles polymères</i>	27
2-3-1. Les stratifiés présensibilisés pour circuits imprimés	28
2-3-2. Les feuilles décoratives présensibilisées	30
2-3-3. Les films d'inversion colorés	32
2-4. <i>Domaines d'emploi des différents produits photosensibles</i>	33
 CHAPITRE 2 Mise en œuvre des surfaces photosensibles - Le matériel nécessaire	 35
1. <i>Les sources lumineuses</i>	35
1-1. <i>Composition d'un rayonnement lumineux - sensibilité chromatique des émulsions</i>	35
1-2. <i>Différentes sources lumineuses utilisables</i>	36
1-2-1. La lumière solaire	36
1-2-2. Les ampoules à incandescence	36

1-2-3. Les tubes fluorescents	38
1-2-4. Les tubes fluorescents actiniques	38
1.3. Réalisation pratique d'un châssis d'insolation UV	39
2. Les équipements optiques	45
2-1. La lentille convergente - les objectifs	45
2-2. L'appareil photographique	47
2-3. L'agrandisseur	51
2-4. L'équipement général du laboratoire	54
2-5. Les produits chimiques et leur préparation	57
2-5-1. Bains d'arrêt	57
2-5-2. Fixateur acide	58
2-5-3. Bain de blanchiment pour inversions	58
CHAPITRE 3 Prescriptions de sécurité - Précautions à prendre . . .	61
1. Les risques encourus dans le laboratoire	61
1-1. Les risques d'électrocution	61
1-2. Le danger des rayons ultra-violets	62
1-3. Les risques dûs aux produits chimiques	62
2. Les secrets d'un travail soigné	63
CHAPITRE 4 Quelques exemples pratiques de travaux réalisables	65
1. Tirage sur résine positive d'un circuit imprimé dessiné sur calque	66
1-1. Réalisation du dessin des connexions	66
1-2. Préparation de la plaquette à graver	73
1-3. Sensibilisation d'une plaquette décapée	74
1-4. Insolation de la plaquette sensibilisée	75
1-5. Développement de la plaquette exposée	75
1-6. L'attaque chimique	76
2. Tirage d'un contretypage sur film photographique	77
3. Tirage d'un contretypage sur film « orange »	78
4. Tirage d'une plaque décorative (façade)	79

5. Copie exacte d'un document transparent par inversion d'un film photo	79
6. Copie sur film autopositif d'un document opaque	80
7. Reproduction avec changement d'échelle.	81
7-1. Réalisation de bobinages HF imprimés.	83
7-2. La pratique du changement d'échelle	86
8. Le problème du double face	89
CHAPITRE 5 Comment se procurer les produits nécessaires	91

Avant propos

Cet ouvrage s'adresse avant tout aux électroniciens amateurs désireux de mettre en œuvre les techniques photographiques les plus modernes pour réaliser notamment des circuits imprimés et des façades d'appareils de qualité professionnelle, ainsi que pour appliquer certains procédés spéciaux, tels que la fabrication de bobinages imprimés.

Après avoir présenté l'éventail des produits photosensibles proposés à l'amateur électronicien, nous analyserons en détail les différents procédés photographiques susceptibles d'être employés en photogravure, de nombreux exemples pratiques mettant en relief la possibilité de mettre en œuvre les moyens les plus évolués avec un budget extrêmement limité.

Les dernières pages seront consacrées à communiquer aux lecteurs les références commerciales de certains produits fort utiles, en précisant les moyens d'approvisionnement utilisables.

Les photographes amateurs qui liront ces lignes se remémoreront certainement de vieux souvenirs, et découvriront de nombreuses possibilités d'utilisation du matériel qu'ils possèdent déjà. Quant aux lecteurs qui n'auraient jamais manipulé un appareil photo, ils découvriront au fil des pages toutes les notions importantes qui pouvaient leur manquer pour s'attaquer avec succès aux passionnants problèmes de la photogravure.

L'auteur, ingénieur électronicien de formation, ne prétend pas présenter ici un cours de photographie, même simplifié, mais permettre à chacun de mettre en œuvre des techniques simples et efficaces qu'il a eu l'occasion d'expérimenter depuis plusieurs années.

Les produits photosensibles utilisables en électronique.

Les produits photosensibles utilisés couramment par les photographes amateurs sont de deux sortes : les films et les papiers. Nous allons montrer les utilisations de ces matériaux en photographie appliquée à l'électronique, et introduire l'usage d'autres produits plus spécialement adaptés à la photogravure.

1. SURFACES SENSIBLES A BASE DE SELS D'ARGENT.

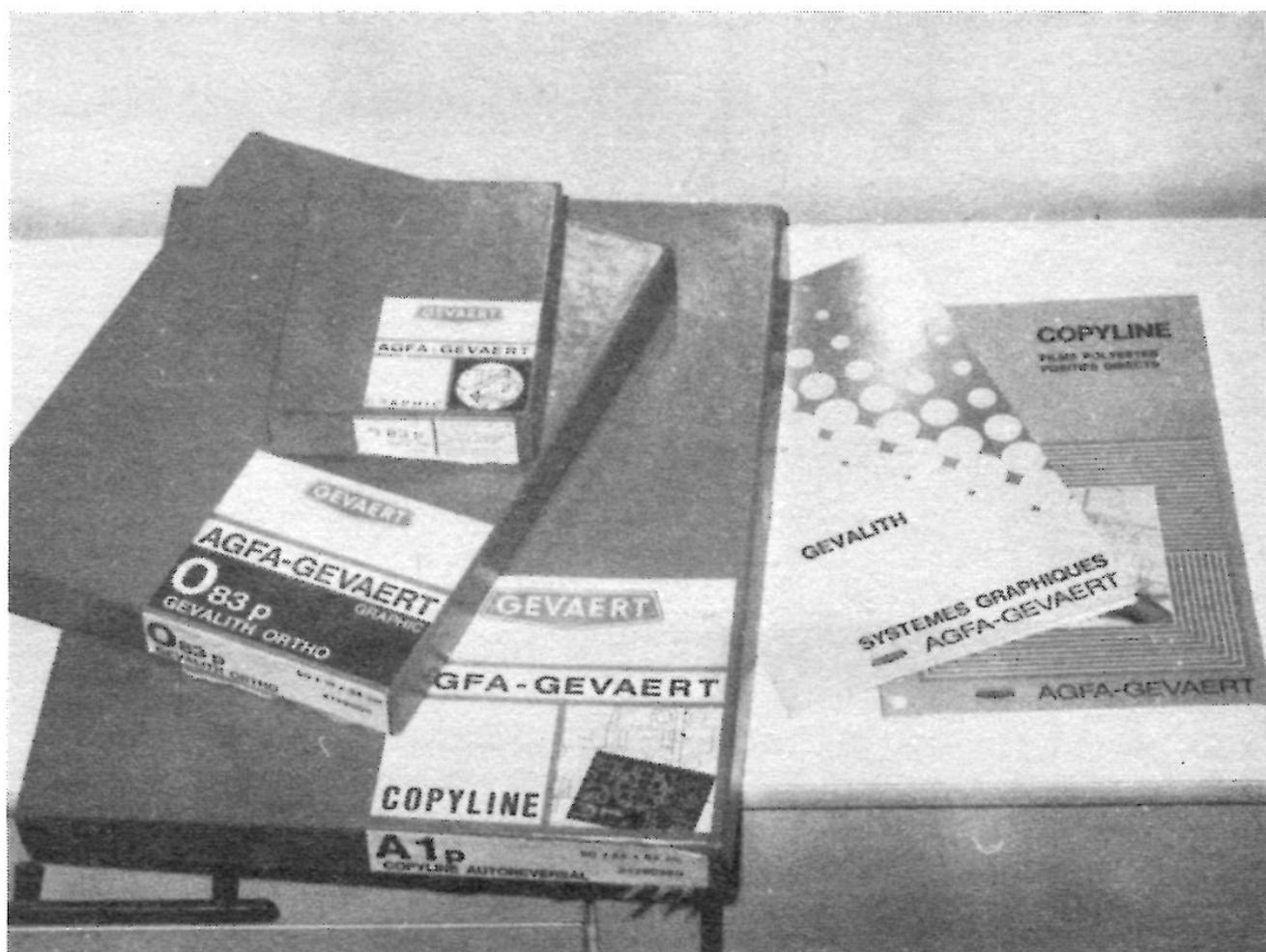
Les réactions photochimiques mettant en jeu des sels d'argent ne sont pas une découverte récente : on a remarqué très tôt la faculté qu'ont ces composés de noircir sous l'action de la lumière, et ces propriétés ont été exploitées pour fabriquer les premiers papiers photographiques, dits à « noircissement direct ». La feuille était en effet exposée fort longtemps à une lumière intense qui la faisait noircir sans qu'aucun développement ne s'impose.

La technique du « fixage », permettant de stabiliser les images ainsi obtenues est venue permettre l'examen de ces épreuves au grand jour, et non plus à la pâle lueur d'une bougie. Ce procédé basé sur le noircissement des sels d'argent est toujours utilisé pour les films et papiers photo, mais de très sensibles améliorations lui ont été apportées.

1-1. Les films photographiques.

1-1-1. Constitution d'un film noir et blanc.

Un film photographique est constitué d'un support transparent en triacétate de cellulose ou en polyester, d'épaisseur généralement comprise entre 50 et 180 microns sur lequel est couchée une *émulsion* à base de gélatine chargée de sels d'argent, constituant la couche sensible proprement dite. Le film



Un échantillonnage des films utilisables pour les travaux de photo-gravure.

est généralement conditionné sous forme d'un ruban de longueur variable et de largeur 35 mm ou plus, perforé ou non sur les bords. La présentation la plus courante est certainement la « cartouche », petit container métallique étanche à la lumière, contenant une longueur de film 35 mm permettant de prendre 20 ou 36 clichés 24 × 36 mm. Certains films spéciaux, très utiles en photogravure, sont aussi vendus en boîtes de 50 ou 100 feuilles de formats standards (le plus petit étant le 6 × 9 cm).

1-1-2. L'exposition du film.

Si une telle préparation sensible est soumise à l'action d'un rayonnement lumineux, le processus de noircissement va s'amorcer, c'est-à-dire que les sels d'argent frappés par la

lumière vont commencer à se transformer en petits grains de métal argent. Ce processus, s'il durait longtemps, aboutirait à un noircissement visible du film. Il est cependant bien évident que les exigences des techniques photographiques modernes ne permettent pas d'envisager des expositions de longue durée. Dans un appareil photographique réglé par exemple sur 1/125 sec, la quantité de lumière parvenant au film est extrêmement réduite, et les grains d'argent formés sont si petits et si peu nombreux qu'ils ne sont absolument pas visibles. Leur présence suffit néanmoins pour que les informations lumineuses représentant le sujet à reproduire soient enregistrées sur le film. Cette image invisible est appelée *image latente*, et les opérations de développement auront pour but de la rendre visible.



Quelques présentations commerciales des films photographiques : en cartouche, en longueurs brutes, en boîtes de feuilles.

1-1-3. Le traitement du film négatif (fig. 1).

Le traitement d'un film qui a été exposé a pour but de rendre visible l'image latente et d'éliminer de l'émulsion tous les produits sensibles à la lumière qui pourraient y subsister et compromettre la conservation du document. Les deux phases fondamentales du traitement sont donc le *développement* et le *fixage*. Un rinçage, ou mieux, un bain d'arrêt, doit séparer ces deux opérations, et le traitement se termine par un lavage abondant à l'eau courante, suivi d'un séchage.

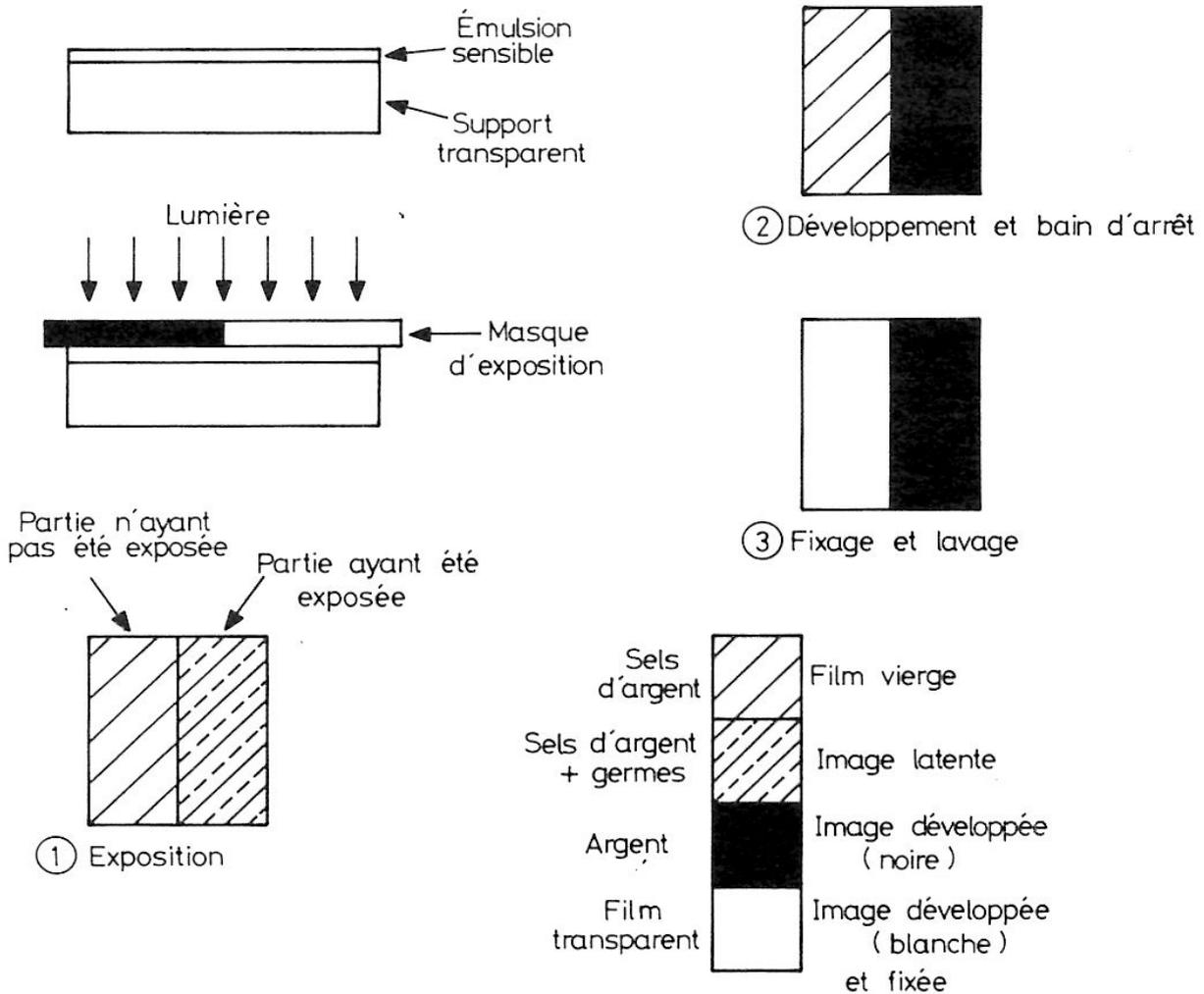


Fig. 1. — Dérroulement des opérations d'exposition et de traitement d'un film noir et blanc

A) Le développement.

Le développement proprement dit a pour but de transformer l'image latente en une image visible dite *image argentique*

puisque constituée d'amas de grains d'argent. Nous avons vu que l'image latente consistait en de minuscules grains d'argent nés de l'action de la lumière sur les sels d'argent contenus dans l'émulsion. Il suffit donc d'augmenter considérablement la concentration en grains d'argent pour rendre l'image visible. Ce résultat est atteint en immergeant le film dans un liquide appelé *révélateur*, qui possède la propriété de transformer les sels d'argent en argent métallique. Si l'on prend soin de limiter la durée d'action du produit à une valeur convenable, la réaction sera beaucoup plus efficace aux endroits où des grains d'argent étaient déjà présents, ceux-ci agissant comme des *germes* favorisant le processus chimique.

On peut donc prévoir qu'un développement prolongé conduira à une image plus foncée, plus dense, et qu'à la limite, un développement exagérément long ferait noircir intégralement n'importe quel film exposé ou non.

Il faut remarquer dès maintenant une loi fondamentale de la photographie qui est la suivante :

Une surface sensible à base de sels d'argent présente, après développement, un aspect noir (opaque), aux endroits qui ont été frappés par la lumière. Le noircissement est d'autant plus prononcé que la quantité de lumière reçue est plus importante et que le développement dure plus longtemps.

Ceci explique l'inversion des valeurs lumineuses entre le sujet et le « *néгатif* » obtenu après traitement d'un film noir et blanc classique : les parties claires du sujet sont rendues par les parties sombres du film et vice-versa.

B) Le bain d'arrêt.

Cette opération est destinée à stopper le développement par neutralisation du révélateur qui imprègne encore la gélatine du film, même retiré du bain. Le liquide de neutralisation peut sans inconvénient être remplacé par de l'eau, mais un tel rinçage n'arrête pas complètement le développement, ce qui oblige à entreprendre immédiatement le fixage.

C) Le fixage.

Après développement et rinçage (ou passage dans le bain d'arrêt), la gélatine du film renferme encore des sels d'argent

intacts dans les parties de l'image qui n'ont pas été exposées (parties claires du film). Le révélateur n'a pas eu d'action notable sur ces sels qui sont donc toujours présents dans la couche sensible, lui conférant un aspect blanc laiteux caractéristique. De plus, ces sels sont toujours capables de noircir à la lumière, et il est donc indispensable de les éliminer totalement avant d'utiliser le film. Le bain de fixage a la propriété d'entraîner ces produits indésirables et de conférer ainsi au film sa transparence définitive, et des qualités de conservation satisfaisantes.

D) Le lavage final.

Si l'opération de fixage a débarrassé la gélatine des sels d'argent qui y subsistaient, il n'en demeure pas moins vrai que les produits constituant le bain de fixage imprègnent maintenant la couche sensible. Ces produits, sous l'action combinée de l'air et de la lumière, risqueraient de former des taches indélébiles sur le film, et c'est pourquoi un abondant rinçage à l'eau courante s'impose. Il est fréquent d'ajouter quelques gouttes de savon liquide à la dernière eau de lavage, afin de garantir un séchage uniforme.

1-1-4. Les différents types de films négatifs.

Nous venons de voir le principe général sur lequel sont basés les films photographiques noir et blanc, mais on peut néanmoins distinguer plusieurs catégories de produits, suivant les caractéristiques qu'ils présentent :

A) La sensibilité.

Ce paramètre caractérise l'aptitude d'un film à enregistrer des quantités de lumière très faibles. Un film très sensible est utile pour photographier dans des conditions d'éclairage difficiles, ou avec des vitesses d'obturation très grandes, mais ne serait d'aucune utilité particulière en technique des circuits imprimés où des éclairages intenses sont disponibles, et où un temps de pose de quelques secondes n'est nullement prohibitif. Cette sensibilité s'exprime en unités arbitraires (ASA ou DIN), et varie souvent avec le révélateur utilisé pour le développement. Des essais s'imposent donc pour déterminer les meilleures conditions opératoires.

B) La sensibilité chromatique.

Les films noir et blanc modernes, utilisés en prise de vue dans des appareils photographiques sont généralement *panchromatiques*, c'est-à-dire sensibles à la totalité des couleurs visibles. Ceci garantit une reproduction fidèle des sujets polychromes, mais impose de mener le traitement dans une obscurité totale. N'importe quelle lumière colorée, qu'elle soit jaune, rouge, ou verte, viendrait en effet voiler le film de façon irrémédiable. C'est pourquoi ces films sont développés dans des cuves spéciales étanches à la lumière.

Par contre, la plupart des films dits « *plan-films* », vendus en feuilles, sont *orthochromatiques*, c'est-à-dire insensibles à la lumière rouge. Cette propriété sera précieuse pour les films destinés aux travaux de photogravure, qui pourront être manipulés à la lumière d'une ampoule rouge, en toute sécurité, lors des prises de vue ou du traitement en cuvette (possibilité de suivre de visu l'évolution du développement).

C) Le contraste et la densité.

Si en photographie traditionnelle il importe de reproduire correctement les demi-teintes, il est de la plus haute importance en photogravure de disposer de films présentant exclusivement des zones opaques ou transparentes, à l'exclusion de toute partie grise, c'est-à-dire partiellement opaque. Le choix portera donc sur des films « *arts graphiques* » ou « *lith* » ou encore « *microfilms* », « *films trait* » ou « *films document* ».

Ces films sont pratiquement incapables de reproduire les demi-teintes et, selon les conditions d'exposition et de développement, peuvent interpréter un gris comme un blanc ou comme un noir. Cette propriété est inestimable en technique des circuits imprimés.

Il convient de noter que ces films doivent être utilisés avec des révélateurs spéciaux, à grand contraste, dits « *révélateurs lith* ».

1-1-5. Les films positifs directs.

Si en photographie « familiale », l'existence d'un négatif est plutôt utile (possibilité d'obtenir facilement un nombre quelconque d'épreuves papier), il est des cas où l'on préfère-

rait obtenir directement à l'issue du traitement une image positive sur le film. Citons le cas des diapositives noir et blanc, quelque peu oubliées depuis le triomphe de la couleur, et, notamment dans le cadre des techniques de photogravure, celui de la duplication rapide au prix le plus bas d'un document au trait (c'est-à-dire comportant uniquement des noirs et des blancs). Deux procédés différents peuvent être mis en œuvre :

A) utilisation d'un film ordinaire.

Un traitement spécial (que nous préciserons plus loin), peut permettre, à partir d'un film noir et blanc exposé comme à l'accoutumée, d'obtenir directement une image positive, sans négatif intermédiaire. Ce procédé, utilisé pour réaliser rapidement des diapositives noir et blanc, sera fort utile en technique des circuits imprimés, en l'appliquant aux plan films « lith » que nous emploierons. Le principe général de ce traitement est le suivant (fig. 2) :

Le film exposé est soumis normalement à l'action du révélateur, ce qui a pour effet de transformer l'image latente en

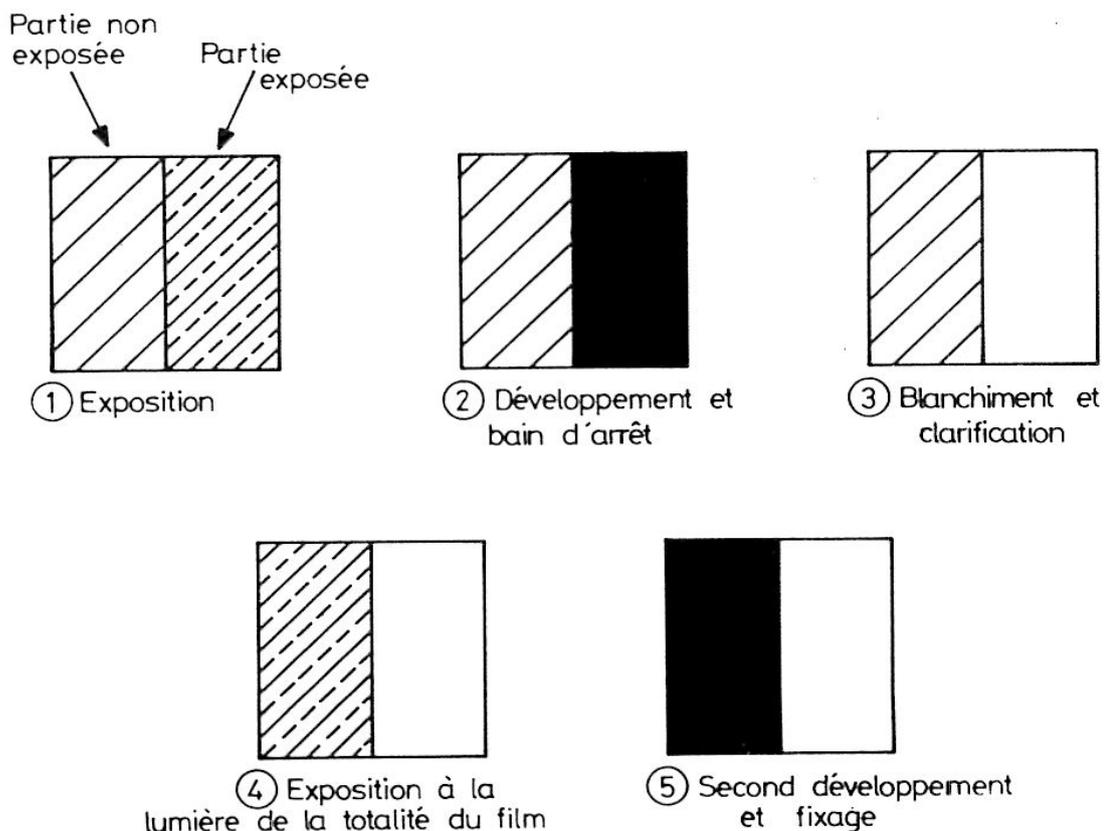


Fig 2 - Déroulement des opérations d'exposition et de traitement en positif d'un film noir et blanc.

une image argentique négative. Après le bain d'arrêt ou le rinçage, on ne procède pas à l'opération de fixage, qui ferait disparaître les sels d'argent non exposés donc non développés, mais on plonge le film dans un bain capable de dissoudre totalement l'image argentique qui s'était formée (bain de blanchissement). Un bain de clarification ou parfois un rinçage débarrassera la gélatine des résidus de produit blanchissant.

Il reste donc des sels d'argent intacts aux endroits qui, après un traitement normal, seraient devenus transparents, et les parties du film qui auraient dû devenir noires sont maintenant dépouillées de tout produit, argent ou sel.

Il est donc très clair qu'un second passage dans le révélateur, mais cette fois en pleine lumière, sera capable de faire noircir les sels d'argent qui ont subsisté, donc de donner une image inversée par rapport au résultat du premier développement, c'est-à-dire une image positive. Un bain de fixage éliminera les dernières traces de sels qui auraient pu échapper aux opérations précédentes.

B) Utilisation d'un film spécial (autopositif) (fig. 3).

Il existe un procédé plus simple, permettant d'obtenir directement une image positive sur film à l'issue d'un traitement

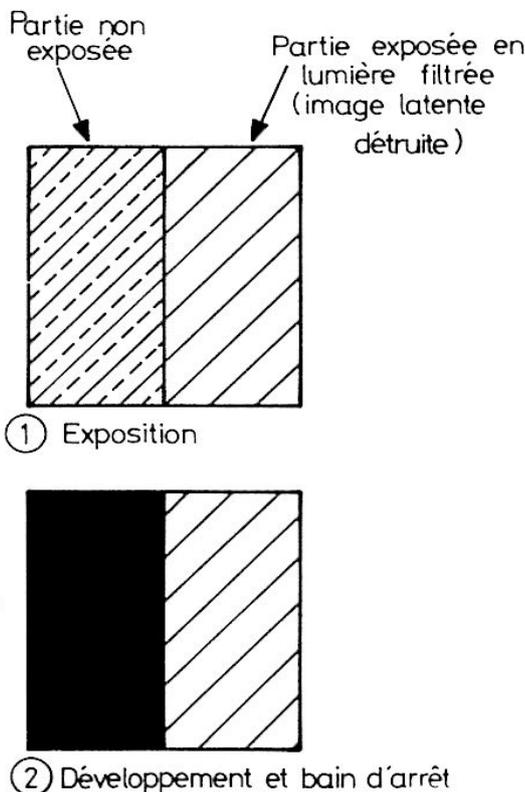


Fig. 3. — Déroulement des opérations d'exposition et de traitement d'un film noir et blanc autopositif.

normal (développement et fixage). Il est basé sur une propriété spéciale des émulsions photo :

Si on insole un film déjà exposé avec une lumière à laquelle il n'est pas sensible, l'image latente créée par la première exposition est affaiblie et peut même disparaître si la seconde exposition est suffisante (effet HERSCHEL).

On trouve sur le marché des films spécialement conçus à cet usage : un noircissement latent est apporté à l'émulsion pendant la fabrication du film qui deviendrait donc totalement noir si on le développait normalement. Si maintenant on expose ce film à la lumière à *travers un filtre jaune*, les parties éclairées apparaîtront en blanc après développement, ce qui est bien le but recherché.

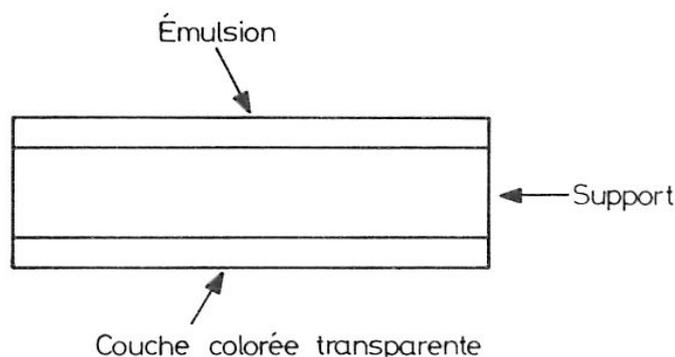


Fig. 4. — Coupe d'un film autopositif du commerce.

Si on examine la fig. 4, qui représente un tel film vu en coupe, on constate l'existence d'une couche transparente colorée en jaune, à l'opposé de l'émulsion. Ceci permet une utilisation tout à fait particulière qui sera extrêmement utile en technique des circuits imprimés : Supposons que l'on veuille reproduire exactement sur un support transparent un document opaque, au trait. (par exemple une page de ce livre). Il suffit de poser une feuille de film autopositif, sur le document, émulsion en contact avec l'impression, de presser le tout au moyen d'une plaque de verre, et d'éclairer cet assemblage pendant quelques minutes, à travers la couche colorée, à l'aide d'une forte lampe à incandescence (100 watts ou plus). La lumière jaune ayant franchi la couche dorsale traversera le film, viendra se réfléchir sur les seules parties blanches du document, et détruira le noircissement latent présenté par l'émulsion à ces

endroits. Il ne reste plus qu'à traiter le film comme à l'accoutumée pour obtenir la copie transparente désirée. Il est important de remarquer que ces films sont généralement très peu sensibles à la lumière du jour et qu'une chambre noire n'est pas nécessaire : l'exposition et le traitement peuvent avoir lieu en lumière du jour atténuée (tirer les rideaux). Nous donnerons plus loin tous les détails pratiques nécessaires.

1-2. Les papiers photographiques.

Ces papiers, bien connus de tous les photographes amateurs sont recouverts d'une couche barytée dont le but est de parfaire la blancheur du support, elle même recouverte d'une émulsion sensible rappelant celle des films, mais présentant néanmoins certaines différences :

- l'émulsion d'un papier est, en général, moins sensible que celle d'un film, ce qui n'est pas gênant pour des travaux en laboratoire.
- la sensibilité chromatique d'un papier est beaucoup moins étendue que celle d'un film, ce qui permet d'effectuer les manipulations en lumière rouge ou jaune sans risque de voilage.

L'émulsion d'un papier, tout comme celle d'un film, donne après traitement une image négative (les parties éclairées deviennent noires et vice versa). En conséquence, si l'exposition se fait (par contact ou par projection) à travers un film négatif, le résultat final obtenu sur la papier sera positif, c'est-à-dire en accord avec les valeurs lumineuses du sujet d'origine.

Notre description des papiers photographiques s'arrêtera là, car nous verrons plus loin que leurs applications en technique des circuits imprimés sont assez peu nombreuses.

2. SURFACES SENSIBLES POLYMÈRES.

Si les produits photosensibles à base de sels d'argent permettent d'obtenir dans d'excellentes conditions des documents opaques ou transparents présentant des zones noires, blanches ou grises, il ne peuvent être d'aucune utilité pour les opérations de photogravure proprement dites. La gravure chimique d'une surface métallique (circuit imprimé, plaque déco-

native, cylindre d'impression héliographique, etc...) exige en effet la création d'une couche insoluble appelée « réserve » protégeant les parties ne devant pas subir l'attaque de l'agent de gravure (perchlorure de fer, acide nitrique, etc...) On a donc développé des produits spéciaux, largement utilisés dans l'imprimerie, qui ne font plus appel aux propriétés des sels d'argent, mais à celles de substances organiques appartenant à la famille des polymères.

On demandera au produit subsistant après développement une excellente résistance aux liquides de gravure et une très bonne adhérence sur les surfaces métalliques.

Dans le cas des circuits imprimés, la réserve réalisée par voie photographique viendra remplacer le tracé au vernis habituellement utilisé.

2-1. Les résines positives (fig. 5).

Le terme « résine » est utilisé pour décrire le liquide photosensible, analogue à un vernis qui est étendu sur la surface à traiter. On parle également de « laques » ou de « resists ».

La couche réalisée au moyen d'une résine positive, normalement insoluble dans un mélange de solvants appelé *révélateur*, possède la propriété d'y devenir soluble après exposition suffisante à une lumière riche en rayons ultra violets (nous passerons plus loin en revue les sources lumineuses susceptibles d'être utilisées). Cette diminution de résistance de la couche est due à la destruction par le rayonnement de la structure chimique du produit. Dans le langage courant, on parle de *brûlage*, en jargon chimique, de *dépolymérisation*. La première résine historiquement utilisée par les imprimeurs a été l'albumine bichromatée, qui se révélait simplement avec de l'eau, mais de nombreux produits beaucoup plus performants sont maintenant à notre disposition.

Si une couche sensible réalisée au moyen d'une résine positive est exposée aux UV (ultra-violets) à travers un document d'exécution comportant des zones opaques et des zones transparentes (par exemple un dessin à l'encre de chine sur un calque), les parties de la couche correspondant aux zones transparentes vont se trouver insolées, donc disparaître lors de l'immersion dans le révélateur (développement). Lors du trempage de la pièce dans l'agent d'attaque chimique, seules les zones correspondant aux parties opaques du document

(ou *masque*) vont rester intactes. Dans le cas d'une pièce massive, on arrêtera l'attaque lorsque la profondeur de gravure désirée sera atteinte, dans le cas d'un matériau à plusieurs cou-

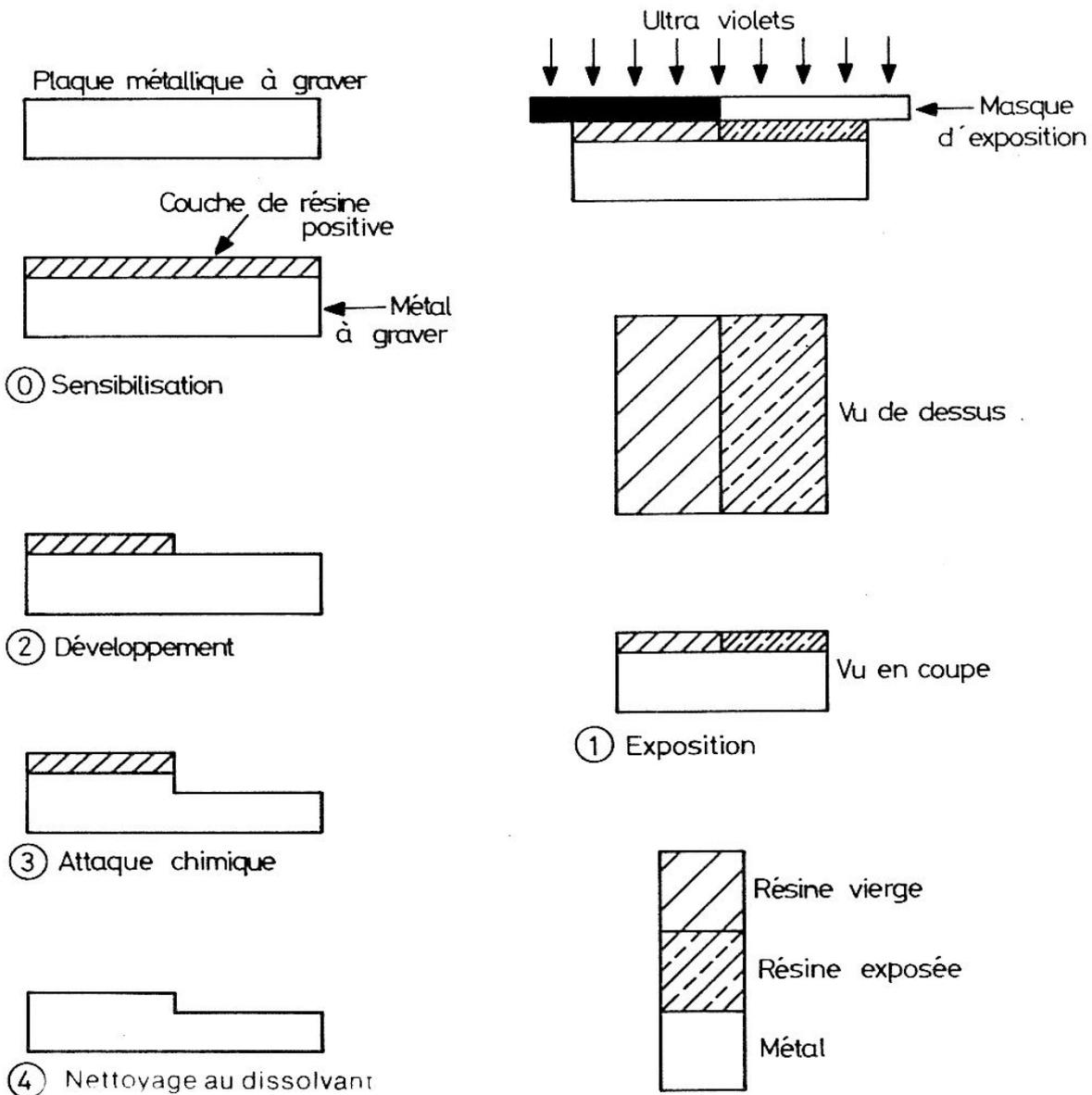


Fig. 5. — Déroulement des opérations de photogravure d'une plaque métallique (résine positive).

ches (stratifié pour circuits imprimés), on poursuivra le traitement jusqu'à élimination complète de la couche à supprimer.

La gravure terminée, un dissolvant approprié permettra de débarrasser la pièce de la résine ayant terminé son office.

2-2. Les résines négatives (fig. 6).

De même qu'en photographie classique où coexistent des surfaces sensibles positives et négatives, l'éventail des produits pour photogravure comprend également des résines négatives dont le comportement est exactement opposé à celui des précédentes.

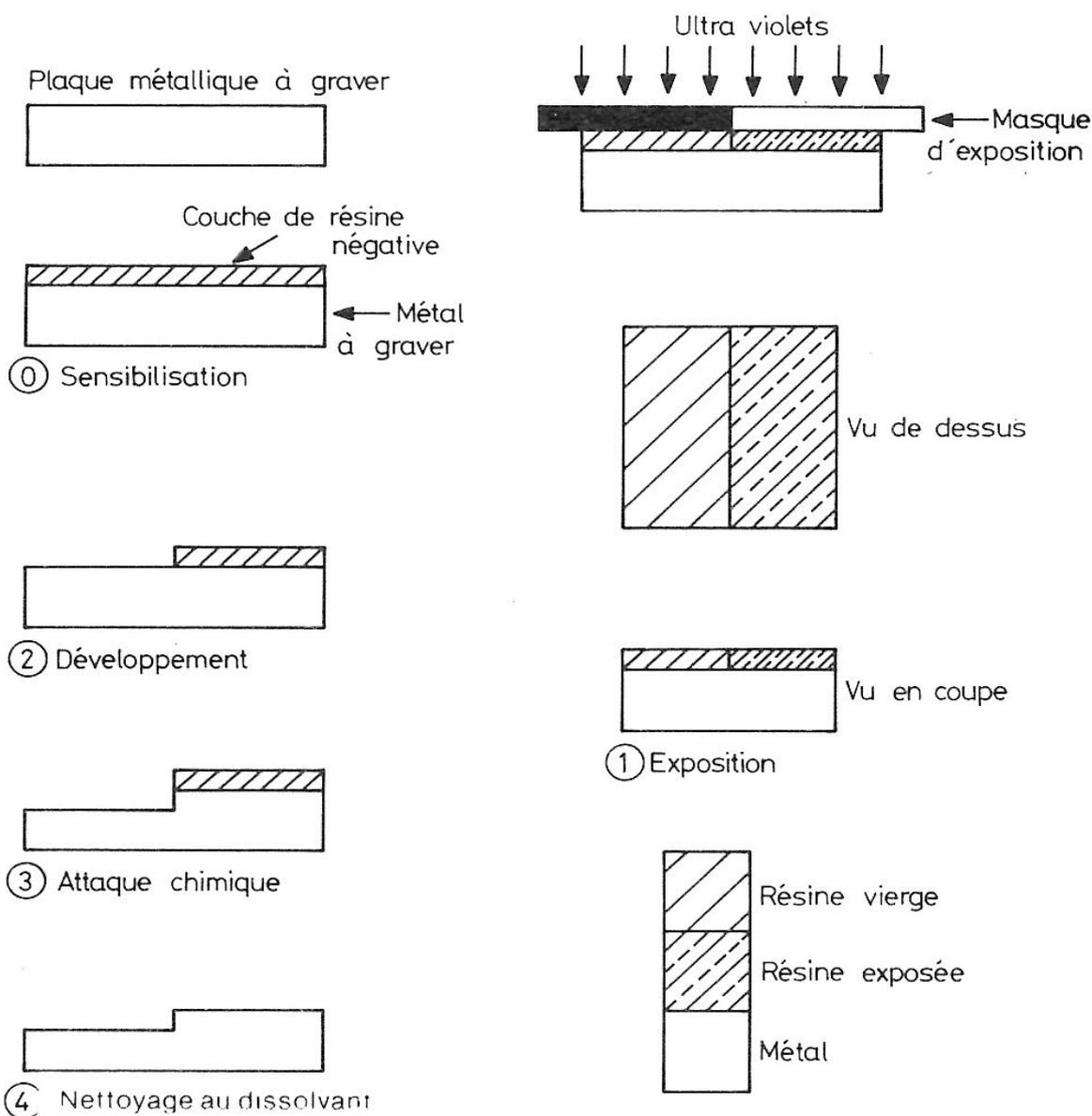


Fig. 6. — Déroulement des opérations de photogravure d'une plaque métallique (résine négative).

Une couche réalisée au moyen d'une résine négative peut normalement être dissoute par un révélateur approprié. Elle cesse cependant d'y être soluble après une exposition suffi-

sante aux rayons ultra-violet. Cette augmentation de résistance de la couche est fondée sur un principe voisin de celui du durcissement à l'air ou à la chaleur des vernis, peintures, colles, etc... On parle de *cuisson* ou encore de *polymérisation* de la couche.

A l'inverse de ce qui se passait avec les produits positifs, les zones correspondant aux parties opaques du document vont être débarrassées de la résine lors du développement, et donc subir l'attaque chimique. Seules les zones correspondant aux parties transparentes du document resteront intactes après nettoyage de la résine à l'aide du dissolvant approprié.

On se rend compte que, si les produits sensibles à base de sels d'argent ne peuvent que causer eux-mêmes un noircissement qui est en fait le but final recherché, les produits sensibles polymères ne sont le plus souvent qu'un intermédiaire n'autorisant l'action d'un réactif particulier qu'à certains endroits définis par le masque d'exposition, et sont finalement éliminés en fin de traitement. Nous allons cependant voir que pour certaines applications, la couche de résine développée est conservée, sa couleur pouvant servir à des fins décoratives ou comme partie opaque aux UV d'un document transparent.

2-3. Présentation commerciale des produits sensibles polymères.

En photographie classique, on trouve les gélatines sensibles étendues sur différents types de supports : papiers de toutes épaisseurs et couleurs, mats ou brillants, films triacétate ou polyester de divers formats, et même plaques de verre. Ce n'est que pour des besoins très spéciaux (physique nucléaire) que l'on vend la gélatine sous forme liquide, à étendre par soi-même sur le support de son choix.

Les résines polymères, négatives ou positives, se trouvent couramment dans le commerce sous forme liquide, conditionnées en flacons, bidons ou bombes aérosol, d'emploi plus ou moins pratique (nous y reviendrons d'ailleurs). Une présentation purement industrielle consiste à fournir une fine pellicule sensible susceptible d'adhérer à la surface devant être traitée.

De nombreuses marques fournissent des supports très divers, convenant à presque tous les usages, revêtus d'une



Un échantillonnage de résines photosensibles susceptibles d'être utilisées (présentation en bouteilles et en bombes).

couche sensible irréprochable, ainsi que les révélateurs et solvants nécessaires.

2.3.1. Les stratifiés présensibilisés pour circuits imprimés.

Plusieurs fournisseurs (qui fabriquent également des machines pour la photogravure industrielle) offrent toute une gamme de stratifiés bakélite ou epoxy recouverts d'un placage de cuivre d'épaisseur 35 (ou 75) microns, lui-même porteur d'une résine polymère positive ou négative. Ces plaques, cuivrées et sensibilisées sur une ou deux faces sont vendues soit par planches d'environ 1 m², soit par coffrets de plusieurs plaquettes découpées à un format standard. Dans les deux cas, un emballage étanche à la lumière est prévu et ne doit être retiré qu'immédiatement avant usage. Il s'agit parfois d'un papier noir légèrement adhésif collé sur la surface sensible. La durée d'exposition des plaques dépend de leur type, et surtout de la source lumineuse utilisée, des essais s'imposent donc avant

d'entreprendre le traitement d'une plaquette de grandes dimensions.

Le révélateur nécessaire au développement des plaques exposées est généralement fourni par le fabricant, pour un prix modique. Dans certains cas, une formule est indiquée, qui permet à l'utilisateur de préparer lui-même son révélateur.

Deux catégories principales de révélateurs sont actuellement sur le marché :

- *Les révélateurs aqueux*, composés d'une base (soude, potasse, ammoniacque) en solution dans de l'eau additionnée d'une proportion variable d'alcool, généralement assez faible (produits dangereux pour la peau car corrosifs).

- *Les révélateurs organiques*, composés de solvants (xylène, trichloréthylène, etc...) additionnés de substances supplémentaires gardées secrètes (produits dégageant des vapeurs toxiques, voire mortelles). Ces produits sont toujours fournis prêts à l'emploi, les précédents devant souvent être dilués à l'eau.

L'utilisation de ces révélateurs se fait généralement en cuvette, par arrosage de la plaquette ou agitation. Certaines résines très résistantes supportent d'être frottées avec un tampon, mais il est tout de même préférable d'éviter d'employer cette méthode qui présente des risques de rayures. Quelques fournisseurs livrent le révélateur en bombe aérosol, ce qui simplifie l'utilisation, mais augmente le prix de revient et élimine toute possibilité de réemploi du produit déjà utilisé.

Les stratifiés présensibilisés représentent une excellente solution, garantissant des résultats de très grande qualité et procurant un gain de temps appréciable. Toutefois, leur utilisation se révèle assez coûteuse pour l'amateur. Il est de toutes façons utile de disposer de résine liquide pour reconstituer après décapage la couche sensible de plaquettes ayant subi un incident de traitement avant la phase de gravure.

Cette attaque chimique se fait de la façon classique au perchlorure de fer ou à l'acide nitrique dilué, dans une cuvette qui sera de préférence agitée le plus souvent possible afin d'accélérer le processus.

Les fournisseurs de plaques présensibilisées peuvent généralement fournir du perchlorure concentré (donc liquide) à un prix très avantageux par rapport aux cristaux que l'on trou-

ve dans le commerce de détail et qui sont par ailleurs d'un emploi peu pratique.

2-3-2. Les feuilles décoratives présensibilisées (fig. 7).

La réalisation soignée de façades d'appareils, étiquettes, plaques signalétiques et autres plaques décoratives a toujours posé de délicats problèmes aux électroniciens amateurs et à certains professionnels travaillant à l'unité ou par petites séries. La gravure industrielle coûte en effet fort cher par petites quantités.

Un procédé simple consiste à apposer sur une feuille métallique parfaitement surfacée des symboles à transfert éventuellement complétés par des tracés à l'encre de chine, et à pulvériser sur le tout un vernis de protection. Cette technique est malheureusement assez délicate à mettre en œuvre, car il est difficile d'obtenir un état de surface satisfaisant du support avec les « moyens du bord ».

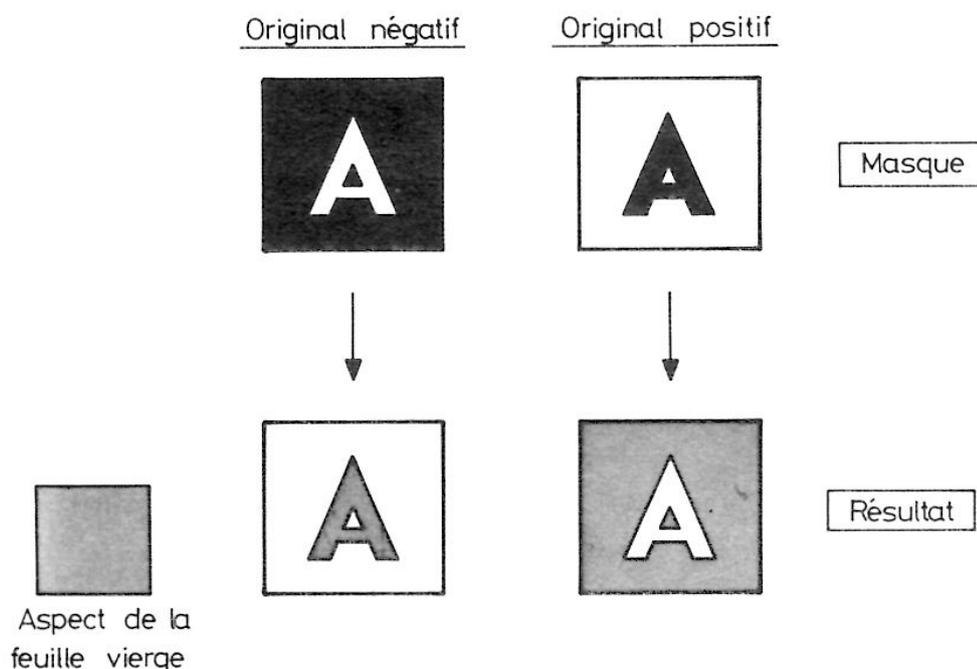


Fig. 7. — Résultats obtenus avec une feuille décorative présensibilisée et un original transparent négatif ou positif.

L'utilisation des feuilles décoratives présensibilisées (métal ou plastique) que plusieurs fabricants proposent maintenant permet d'obtenir des gravures de qualité irréprochable, en plusieurs couleurs et aspects de surface, pour un prix très

compétitif à l'unité ou par petites séries, d'après un document d'exécution transparent ou semi-transparent, positif ou négatif selon l'allure du résultat désiré.

Chez certains fournisseurs, la feuille est pourvue d'une face adhésive permettant une application facile sur tous les supports usuels. Parmi les produits les plus courants, on peut distinguer deux classes principales :

- *Feuilles minces pour gravure sans relief :*

Ces feuilles, qui existent en aluminium satiné ou en plastique légèrement brillant sont certainement les plus économiques et les plus simples d'emploi. De plus, leur minceur permet une application sur des surfaces qui ne sont pas toujours rigoureusement planes. La résine photosensible qui les recouvre est colorée (noir, rouge, vert, bleu, etc.) et c'est en la faisant disparaître par exposition à travers un masque puis développement que l'on fait réapparaître la couleur du support selon le motif dessiné sur le masque.

Un vernis de protection vient soustraire la couche de résine à l'action des rayures et des agents chimiques extérieurs. Ce vernis est livré en bombes aérosol par le fabricant des feuilles, qui fournit également un révélateur spécial, essentiellement composé d'alcool, mais contenant certains additifs indispensables. Le développement s'effectue, après insolation aux UV, en versant le révélateur sur la feuille et en frottant avec un tampon de cellulose que l'on jettera après le premier usage, la moindre poussière causant de graves rayures difficiles à corriger. Lors du collage de la feuille, il faut veiller à éviter tout pliage à angle vif, qui se traduirait par une marque ineffaçable.

- *Feuilles épaisses pour gravures en relief :*

La différence majeure avec les produits précédents réside dans l'épaisseur du support (obligatoirement métallique), qui en fait une véritable tôle d'aluminium, soigneusement surfacée et sensibilisée. Le traitement s'effectue de la même façon que pour les circuits imprimés, un bain de gravure étant prévu après le développement. Ce bain, généralement assez dangereux (présence d'acide fluorhydrique) permet de diminuer l'épaisseur du support en dehors des caractères colorés qui prennent ainsi un certain relief. Ce luxe ne justifie pas réellement la différence de prix assez importante entre les deux techniques. De plus, l'épaisseur du support peut poser des

problèmes d'application (il n'existe d'ailleurs généralement pas de couche adhésive).

2-3-3. Les films d'inversion colorés.

L'utilisation rationnelle des surfaces sensibles polymères, positives ou négatives, nécessite souvent l'inversion photographique du document d'exécution. Le dessin original est en effet presque toujours exécuté sur calque, à l'encre de chine ou à l'aide de symboles à transfert noirs. Un tel masque peut servir directement à insoler une résine positive lors de la gravure d'un circuit imprimé. Avec une feuille décorative en aluminium, par exemple, il permettra d'obtenir des caractères métallisés sur fond de couleur.

Pour tirer un circuit imprimé sur résine négative ou pour obtenir une plaque-décor composée de caractères colorés sur fond métallisé, il faut réaliser un masque présentant des valeurs lumineuses inversées, c'est-à-dire un *néгатif* photographique. Un film photographique du type *lith* permet facilement cette opération, mais exige une chambre noire et deux à quatre cuvettes pour le traitement. Les résines polymères offrent une autre solution, présentant l'avantage d'utiliser le même équipement UV que celui servant à insoler les circuits imprimés ou les façades, et surtout de pouvoir être traité en lumière du jour atténuée ou en lumière artificielle normale.

Le film utilisé pour cette opération est composé d'une très mince feuille transparente de polyester, dont une face est recouverte d'une résine polymère, le plus souvent négative, et existant en de nombreuses couleurs pour les besoins des imprimeurs (contrôles de sélection des couleurs).

La seule couleur convenant réellement aux travaux de photogravure appliquée à l'électronique est l'orange, d'où l'appellation courante « film orange ». Cette couleur arrête en effet complètement les UV, au même titre que le noir, sa transparence permettant cependant tous les repérages nécessaires sur le support.

L'utilisation de ces films est voisine de celle des feuilles décoratives : la feuille est placée contre l'original dans un châssis d'exposition à ultra-violet (dont nous décrirons plus loin la réalisation) et insolée pendant un temps déterminé au moyen de quelques essais.

Le développement s'effectue en versant le révélateur spécial sur le film et en frottant avec un tampon de cellulose très propre. Ne pas craindre de rajouter du produit en cours de développement. Aucun rinçage n'est à prévoir, le révélateur alcoolique s'évaporant rapidement (émission de vapeurs toxiques).

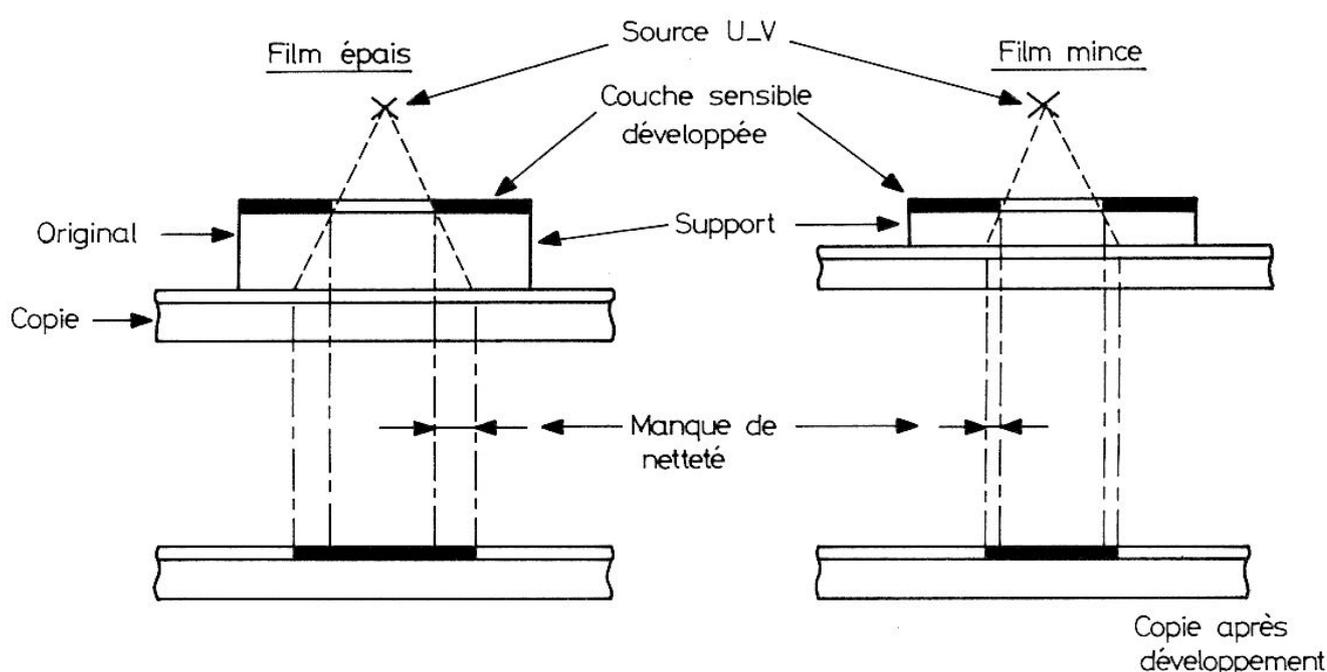


Fig. 8. — *Avantage présenté par un film à support mince lors d'un tirage par contact à travers le support.*

La minceur du support permet, si nécessaire, d'effectuer des tirages par contact à travers le support sans perte notable de netteté, ce qui ne serait pas le cas avec un film plus épais (fig. 8). Chaque fois que cela est possible, il est toutefois préférable de faire les tirages émulsion contre émulsion pour conserver la meilleure netteté.

2-4. Domaines d'emploi des différents produits photosensible.

Les électroniciens amateurs ne possédant pas de labo photo peuvent tout de même se lancer avec succès dans la photogravure en faisant appel uniquement aux surfaces sensibles polymères (résines et film orange). Ils pourront alors limiter leur équipement à une cuvette et à un châssis d'exposition fabriqué par leurs soins.

L'acquisition de cuvettes supplémentaires et d'une forte ampoule à incandescence (100 à 500 W) pourra permettre (toujours sans chambre noire) l'utilisation de certains films auto-positifs à base de sels d'argent (voir § 1-1-5-B) pour reproduire sans avoir à effectuer de dessins des motifs de circuits imprimés parus dans diverses publications.

Cependant, un tel équipement n'autorise pas les changements d'échelle (réduction ou agrandissement) pourtant bien utiles pour reproduire des dessins publiés à l'échelle 1/2, ou pour mettre en œuvre des techniques particulières telles que celle des bobinages imprimés, que nous présenterons plus loin.

Le changement d'échelle ne peut être envisagé qu'avec l'aide de dispositifs optiques associés à des films photographiques à base d'argent, dont le traitement ne peut s'effectuer qu'en chambre noire.

L'équipement nécessaire est très voisin de celui d'un laboratoire photo normal, et fait l'objet du chapitre suivant.

Mise en œuvre des surfaces photosensibles. Le matériel nécessaire.

L'utilisation des produits photographiques en électronique exige certains accessoires, généralement basés sur des principes fort simples. Nous allons dans ces pages exposer des moyens permettant de s'équiper très convenablement sans toutefois occasionner des dépenses excessives. Les photographes amateurs constateront que leur équipement habituel, enrichi de quelques compléments, se prête très bien à ces travaux d'un genre un peu particulier.

1. LES SOURCES LUMINEUSES.

Toute la technique photographique est basée sur l'exposition à divers rayonnement lumineux de toute la gamme de produits photosensibles qui vient d'être présentée. Le choix de la source lumineuse convenant à un travail donné est un facteur important de la réussite des opérations.

1-1. Composition d'un rayonnement lumineux - sensibilité chromatique des émulsions.

Il est du domaine de la physique amusante de montrer avec un prisme que la lumière blanche est composée de toutes les couleurs de l'arc en ciel mélangées entre elles. Il est alors de bon ton d'ajouter qu'en plus de ces lumières colorées visibles existent des rayonnements invisibles situés après le rouge et le violet et appelés respectivement « infrarouges » et « ultraviolets ». A chaque « couleur » au sens large (visible ou non) correspond une longueur d'onde bien déterminée, que l'on exprime en microns (millièmes de millimètre).

Les produits photosensibles sont spécialisés à certaines portions de ce domaine lumineux, ou spectre, comme en témoigne la *figure 9*.

Les résines polymères sont sensibles au proche ultraviolet et à une partie du violet, ce qui permet de les traiter en toute sécurité à la lumière atténuée, mais oblige à recourir à des sources lumineuses spéciales pour leur exposition.

Les émulsions à base de sels d'argent peuvent être « panchromatiques », c'est-à-dire sensibles dans tout le domaine visible (devant donc être traitées dans l'obscurité totale) ou orthochromatiques, c'est-à-dire insensibles à la lumière rouge (pouvant donc être traitées sous l'éclairage d'une lanterne de laboratoire) (cf. § 1-1-4-B, chapitre 1).

1-2. Différentes sources lumineuses utilisables.

1-2-1. La lumière solaire.

La *figure 10* permet de constater que la lumière solaire recouvre tout le spectre visible, et s'étend même bien au-delà. Elle peut donc, théoriquement, servir à exposer toutes les surfaces sensibles courantes évoquées par la *figure 9*. Toutefois, son intensité pouvant varier dans de larges proportions, la détermination du temps d'insolation ne peut être que très imprécise. Il n'est donc pas conseillé d'utiliser cette source lumineuse, excepté pour certains dépannages en cas de défaillance du matériel habituel.

1-2-2. Les ampoules à incandescence.

Ces ampoules, on ne peut plus courantes, émettent une lumière dite blanche, mais en réalité assez jaune. La proportion d'UV qu'elle renferme est très faible, ce qui en exclut pratiquement l'usage pour insoler les résines polymères (30 à 40 mn d'exposition avec une lampe « flood » de 500 W !). En revanche, cette source lumineuse se prête fort bien à l'exposition des films ou papiers photographiques classiques, ce qui explique que l'immense majorité des agrandisseurs et tireuses utilisent ce type d'éclairage. Dans les agrandisseurs, une ampoule de 40 à 150 W convient parfaitement (ampoule opalisée sans inscriptions sur la partie frontale). Pour les tirages par contact, une ampoule de 100 à 200 W (pour les films négatifs, et de 100 à 500 W pour les films autositifs) que l'on déplacera constamment au dessus du châssis d'exposition donne de très bons résultats. On veillera à isoler parfaitement les connexions électriques, car dans un labo photo, les risques d'électrocution sont assez importants (présence de liquides très

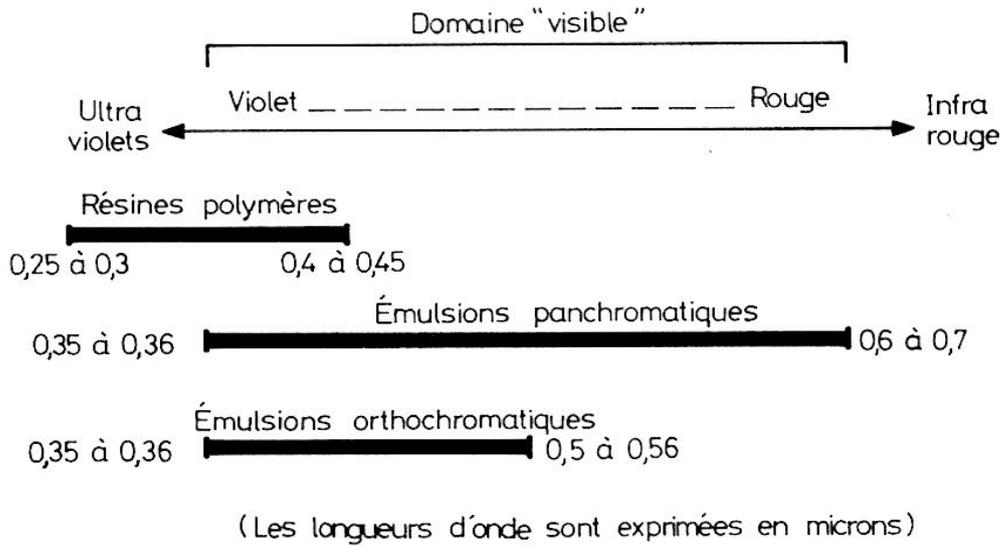


Fig. 9. — Sensibilités chromatiques des différents produits photosensibles.

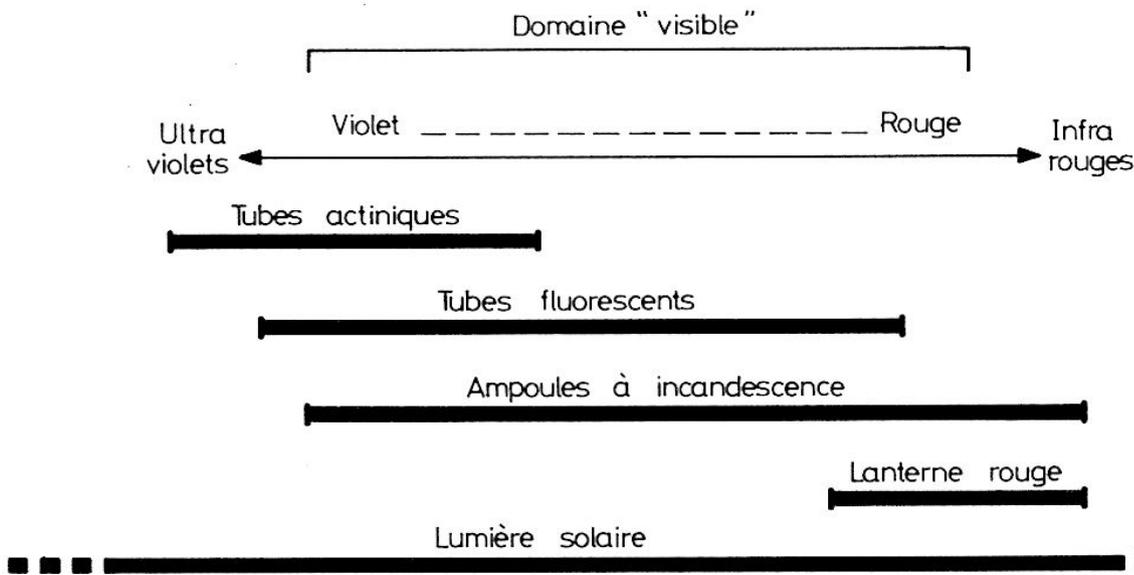


Fig. 10. — Rayonnement émis par les principales sources lumineuses.

conducteurs). Dans le cas d'un tirage au châssis, on peut éventuellement se contenter d'allumer l'ampoule blanche du laboratoire.

Ces mêmes ampoules à incandescence sont aussi utilisées dans les lanternes de laboratoire (puissance 15 ou 25 W). Elles sont alors placées dans une boîte dont les parois sont constituées d'un filtre coloré, le plus souvent rouge. Une

simple ampoule colorée pour guirlandes électriques de rue constitue une lanterne simple, économique, et très suffisante pour les travaux de photogravure.

Pour les agrandissements photographiques sur papier, il est conseillé d'utiliser une lanterne à filtre, la meilleure qualité de l'éclairage étant un facteur favorable à l'appréciation des nuances de contraste. Un tel éclairage n'impressionnant pas les surfaces sensibles est dit *inactinique*.

1-2-3. Les tubes fluorescents.

Ces tubes, appelés très improprement « tubes néon » (ils ne renferment en effet que de la vapeur de mercure, et non du néon) dégagent une lumière beaucoup plus « froide » que celle des ampoules à incandescence, mais plus riche en radiations bleues, violettes, et ultraviolettes. On peut, à la rigueur, envisager leur utilisation pour insoler des résines polymères (tubes « blanc industrie »). Le temps d'exposition reste encore très long (10 à 20 minutes). Dans ces conditions, on comprend que l'usage de ces tubes n'est pas recommandé pour l'éclairage du laboratoire destiné à traiter ces surfaces polymères. Il existe malgré tout de tels tubes, colorés en jaune clair qui conviennent très bien pour cette application, et d'autres colorés en rouge qui peuvent servir pour le traitement des émulsions orthochromatiques. Cet équipement est malgré tout assez coûteux, car le tube doit être connecté à une sorte de self appelée « ballast » dont certains modèles exigent un dispositif supplémentaire, le « starter ». Il n'est donc pas conseillé de procéder à un investissement dans ce domaine, sauf pour la construction d'un équipement efficace d'insolation des résines polymères, utilisant des tubes spéciaux dont la description va suivre :

1-2-4. Les tubes fluorescents actiniques.

Certains tubes fluorescents, munis d'un revêtement intérieur spécial, et à peine plus coûteux que les modèles standards, émettent un rayonnement intense dans l'ultraviolet (rayonnement nocif pour les yeux) qui convient admirablement à l'insolation des résines polymères (2 à 5 minutes avec 1 ou 2 tubes de 20 W). Un tel matériel est beaucoup moins coûteux et beaucoup plus facile à mettre en œuvre que les sources habituelles d'UV (lampes à arc, lampes au xénon, ampoules à va-

peur de mercure sous pression etc.) et permet des résultats parfaitement uniformes d'un tirage à l'autre.

Nous allons d'ailleurs décrire en détail la réalisation d'un châssis d'exposition utilisant deux tubes de 20 W (disponibles sur commande chez la plupart des électriciens en précisant bien tubes *actiniques*) et acceptant les plus grands formats rencontrés dans le domaine amateur.

1-3. Réalisation pratique d'un châssis d'insolation UV (fig. 11).

Un châssis d'insolation doit remplir deux fonctions essentielles :

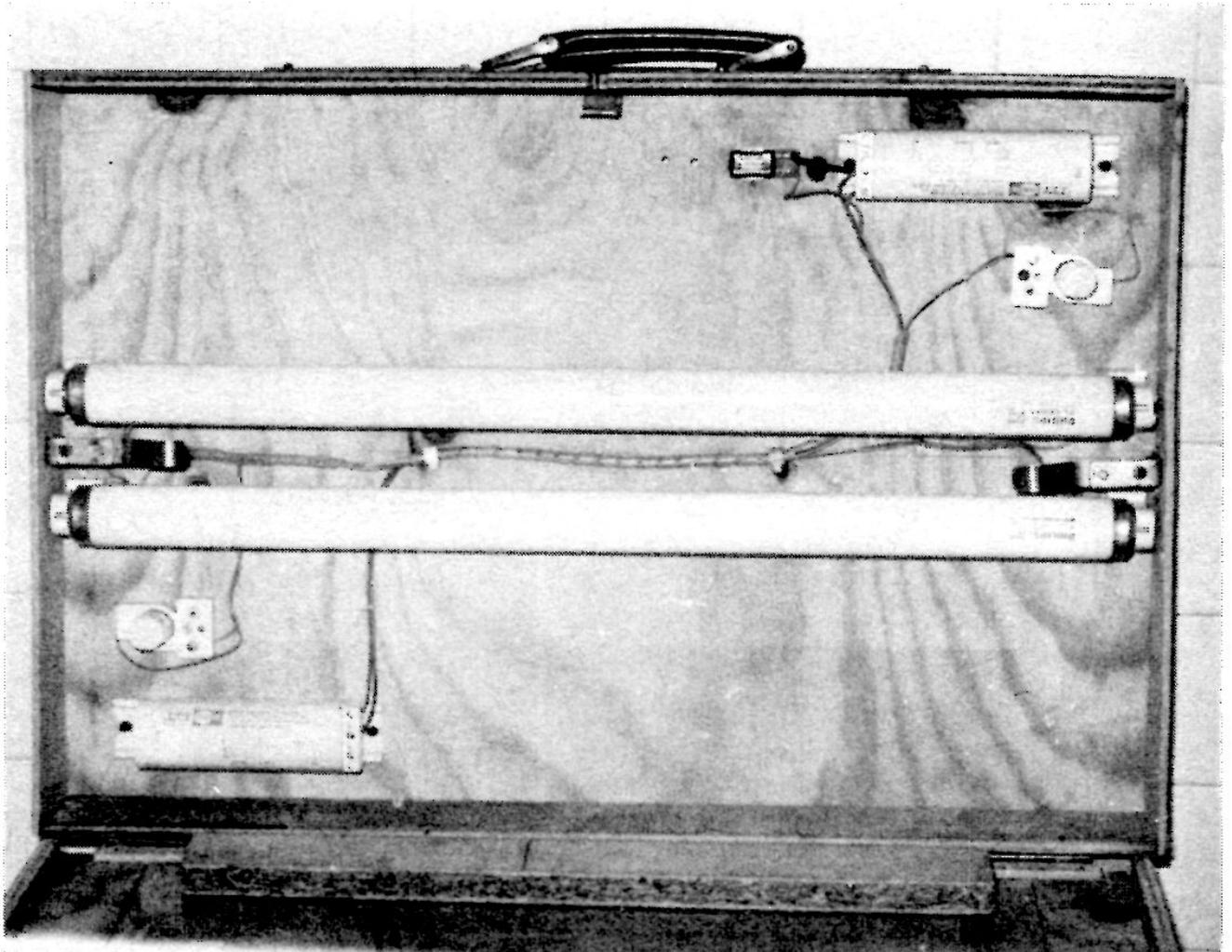
- assurer un *pressage* efficace du masque d'exposition sur la surface sensible, garantissant la meilleure planéité possible ;



Vue générale du châssis entrouvert.

- assurer un *éclairage* uniforme du cliché par un rayonnement ultraviolet (ou par de la lumière blanche pour certaines applications).

Le modèle que nous décrivons ici, qui a été réalisé avec succès par de nombreux lecteurs de la revue « Radio Plans » épouse la forme d'une boîte rectangulaire assez plate dont le fond est constitué d'un panneau de bois aussi plan que possible, recouvert d'une feuille de mousse de plastique ou de moquette mince. Une épaisse vitre montée sur charnières vient assurer le pressage du cliché tout en laissant passer les UV produits par deux tubes actiniques de 20 W disposés à l'intérieur du couvercle, avec tous leurs accessoires électriques. Le matériau malléable (mousse ou moquette) tapissant le fond permet d'absorber les différences d'épaisseur pouvant exister d'un travail à l'autre.



Vue intérieure du couvercle du châssis d'insolation, montrant le câblage électrique.

Pour une exposition en lumière blanche, il suffira, une fois le cliché positionné et la vitre rabattue, d'allumer l'éclairage du labo tout en maintenant le couvercle soulevé et les tubes éteints.

N° pièce	Millimètres	
	Epaisseur c.p	Dimensions
1	10	590 × 450
2	10	630 × 450
3=4	10	630 × 75
5=6	5	450 × 75
7=8	10	420 × 25
9=10	5	590 × 15
11	20	480 × 50

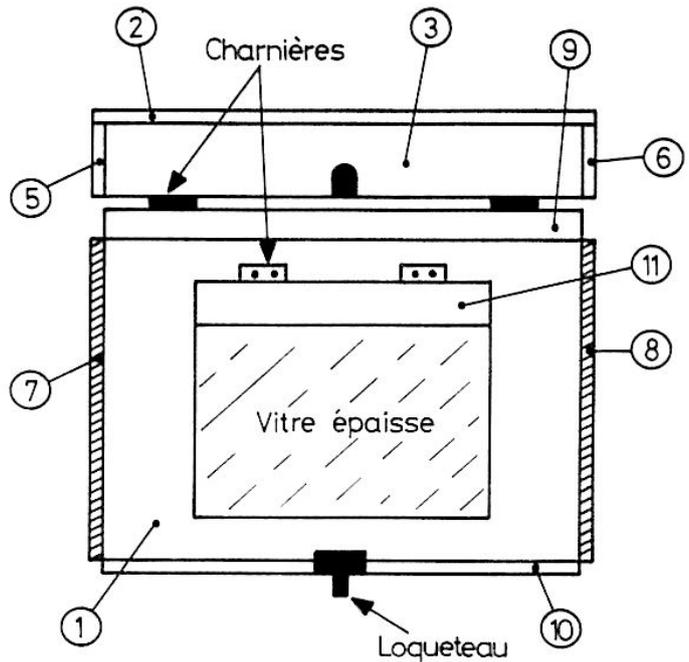
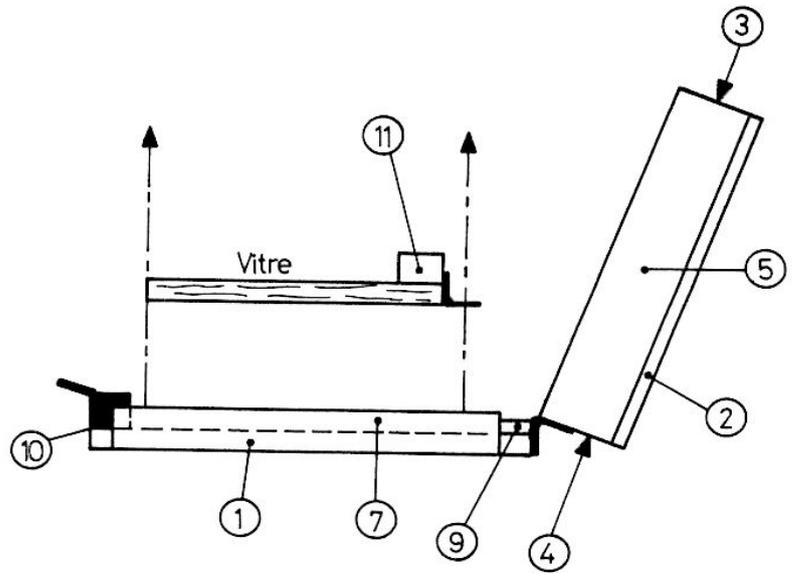


Fig. 11. — Plans du châssis d'insolation.

Le montage de cet appareil est à la portée de tout bricoleur moyen : la première étape consiste à se procurer les panneaux de contre-plaqué découpés aux dimensions indiquées, et à les assembler d'après la figure 11 par collage et clouage. Le couvercle et le fond seront réunis au moyen de deux charnières. La feuille de mousse ou de moquette pourra être collée ou

agrafée sur le panneau du fond. Le montage de la vitre (d'épaisseur voisine de 6 mm, qui pourra provenir d'un ancien téléviseur) demande certaines précautions : le perçage de trous pour la fixation des charnières étant trop délicat, il est préférable de coller une bande de contre-plaqué 20 mm sur le bord de la vitre, à l'aide d'une colle de contact au néoprène, et de visser les charnières dans cette pièce. Un certain jeu (2 à 3 mm) sera laissé lors du serrage des vis, afin de laisser la vitre se placer au mieux pour chaque épaisseur de cliché.

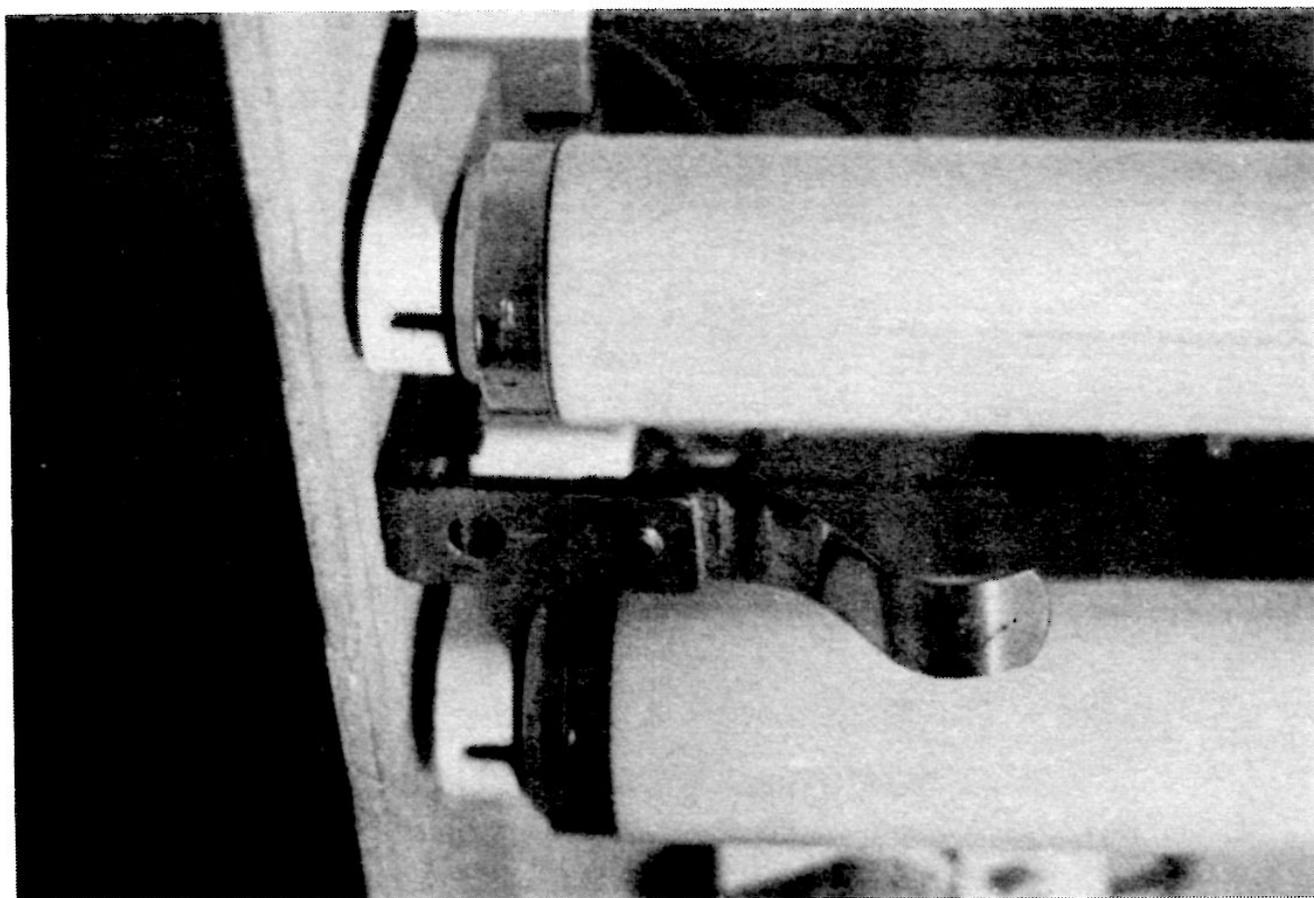


La vitre assure un pressage efficace du cliché contre la plaquette à graver.

A l'intérieur du couvercle, on fixera à l'aide de vis à métaux TF de diamètre 4 mm et d'écrous les supports de tubes et de starters ainsi que les ballasts, et deux ressorts à lame d'acier (ou deux tampons de caoutchouc) destinés à améliorer le pres-

sage de la vitre. Un loqueteau de placard servira à verrouiller le couvercle en position fermée (fixation au moyen de vis à bois).

On montera à l'extérieur du couvercle un interrupteur commandant l'allumage des tubes, et qui pourra le cas échéant être remplacé par un petit minuteur évitant le chronométrage de l'exposition. Il est vivement conseillé d'équiper cette boîte d'exposition d'une poignée permettant son transport aisé, à la manière d'une valise.



Détail de la fixation du ressort de pressage de la vitre.

Le câblage électrique de la boîte appelle quelques commentaires, à l'intention des lecteurs n'ayant jamais monté de tubes fluorescents : les tubes de 20 W, sont les mêmes, quelle que soit la tension secteur (110 ou 220 V). C'est au niveau du ballast que s'effectue la distinction : on choisira un ballast approprié à la tension disponible ou plus simplement un modèle bi-tension dont on utilisera les deux bornes correctes.

Le plan de la *figure 12* sera exactement respecté : la permutation des deux connexions réalisées à l'extrémité d'un tube suffirait à en empêcher l'allumage. Les starters seront d'un modèle prévu pour des tubes de 20 W.

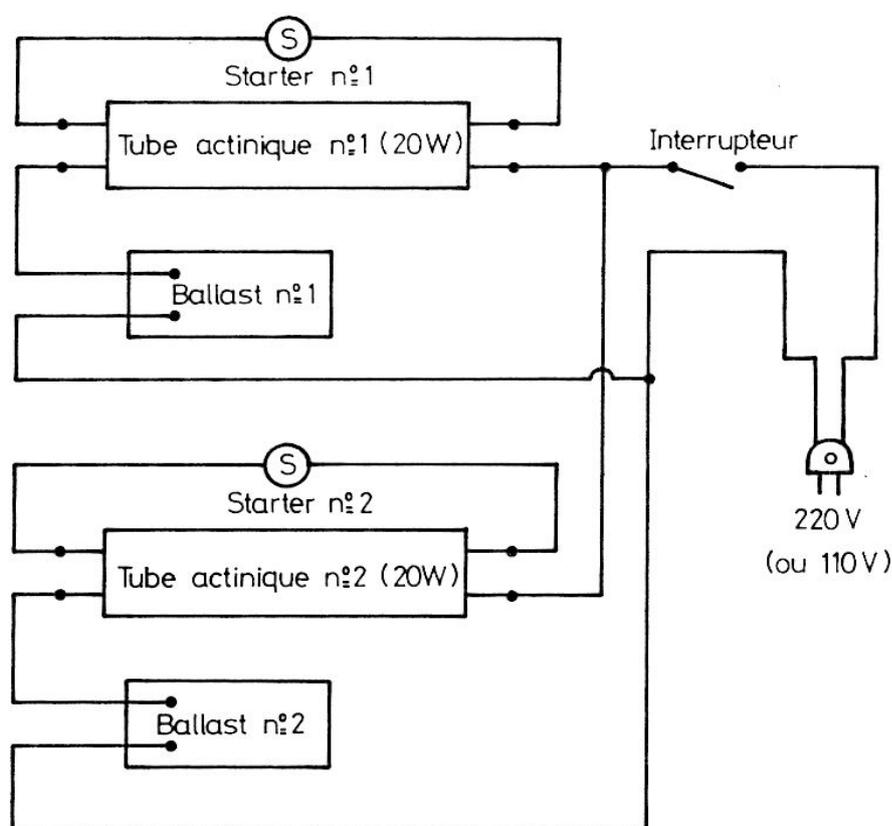


Fig. 12. — Plan de câblage du châssis d'insolation.

Il n'est pas nécessaire d'utiliser pour ce câblage un fil de forte section : 0,5 ou 0,75 mm², suffit amplement.

Correctement réalisé, ce châssis permet de mener à bien tous les travaux courants de photogravure appliquée à l'électronique (tirage de circuits imprimés, façades, plaques décoratives, exécution de copies négatives sur film orange, et même tirage par contact de clichés sur film photographique négatif ou autositif en utilisant une lumière blanche). L'utilisation de deux tubes autorise une largeur de cliché de 10 à 12 cm, et une longueur de 50 à 60 cm. L'emploi d'un seul tube limiterait la largeur utile à 5 ou 6 cm, mais l'adjonction de tubes supplémentaires pourrait permettre le traitement des formats professionnels.

Bien que ne comportant qu'une seule nappe de tubes, ce châssis permet l'insolation des circuits imprimés double face, en glissant la plaquette sensible dans un sachet formé par les deux masques reliés entre eux par un ruban adhésif. La première face exposée, il suffit de retourner ce montage pour exposer la seconde face. Nous aurons l'occasion de revenir plus loin sur cette technique..

2. LES EQUIPEMENTS OPTIQUES.

Le matériel décrit jusqu'à présent ne permet que les travaux par contact entre l'original et la surface sensible, donc sans possibilité de changement d'échelle (agrandissement ou réduction). Ces travaux plus élaborés obligent à recourir à des équipements optiques, appareils photographiques ou agrandisseurs, utilisant les propriétés des lentilles convergentes.

2-1. La lentille convergente - les objectifs (fig. 13).

Une lentille « convergente » est en fait une simple loupe. Approchons une loupe d'une surface claire située en face d'une fenêtre : pour une certaine distance loupe-écran, nous pourrions observer sur ce dernier une image renversée et réduite de la fenêtre. Une observation plus fine permettra de constater que la distance permettant de distinguer nettement le cadre de la fenêtre (ou les plis des rideaux) est légèrement différente de celle donnant une image nette des objets situés à l'extérieur, très loin de la loupe (à l'infini). Nous venons de découvrir la notion de *mise au point*, voisine de celle d'*accord* d'un circuit oscillant.

La *figure 13a* donne une représentation schématique de l'expérience : pour une distance sujet-lentille d_1 (appelée distance objet), il n'existe qu'une seule distance lentille-écran d_2 (appelée distance image) donnant une image nette du sujet sur l'écran.

Si d_1 est supérieure à d_2 , l'image sera plus petite que l'objet, si $d_1 = d_2$ l'image aura les mêmes dimensions que l'objet, et si d_1 est inférieure à d_2 , l'image sera plus grande que l'objet.

Ce cas est illustré par la *figure 13b*, qui symbolise une projection photographique ou cinématographique alors que la *figure 13a* évoquait davantage la prise de vue classique.

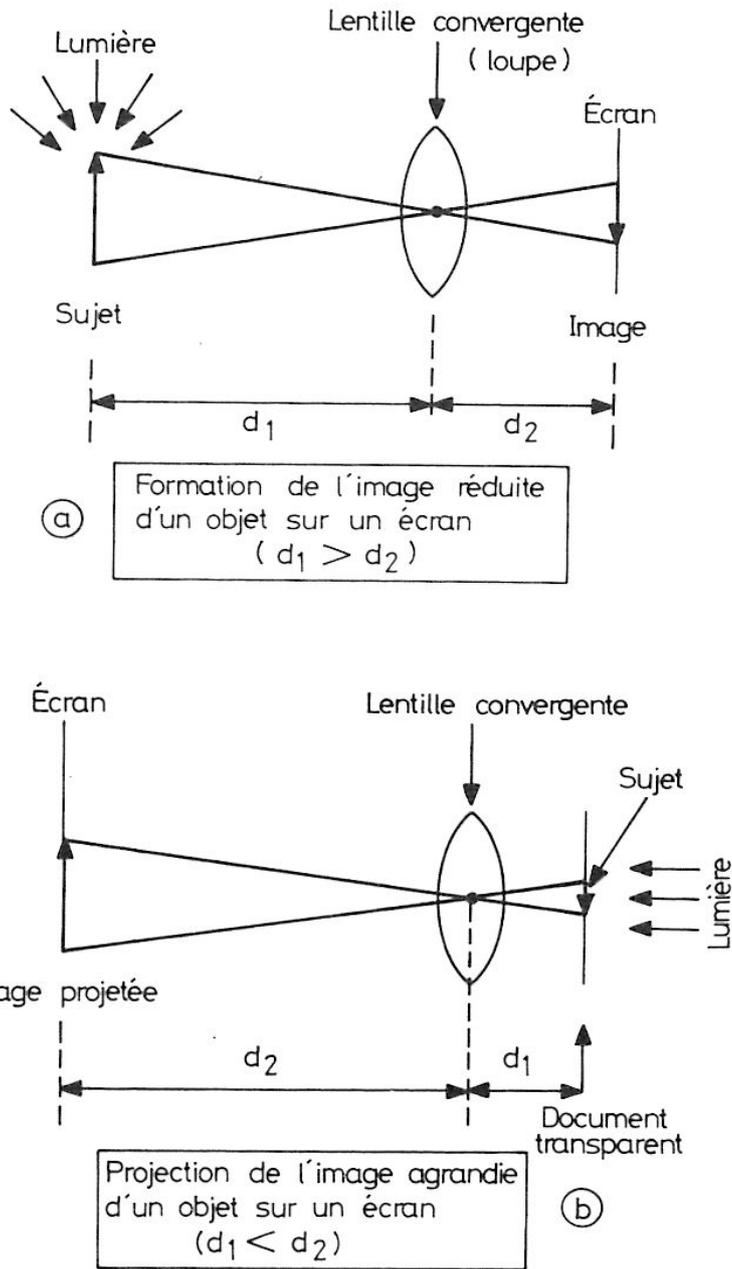
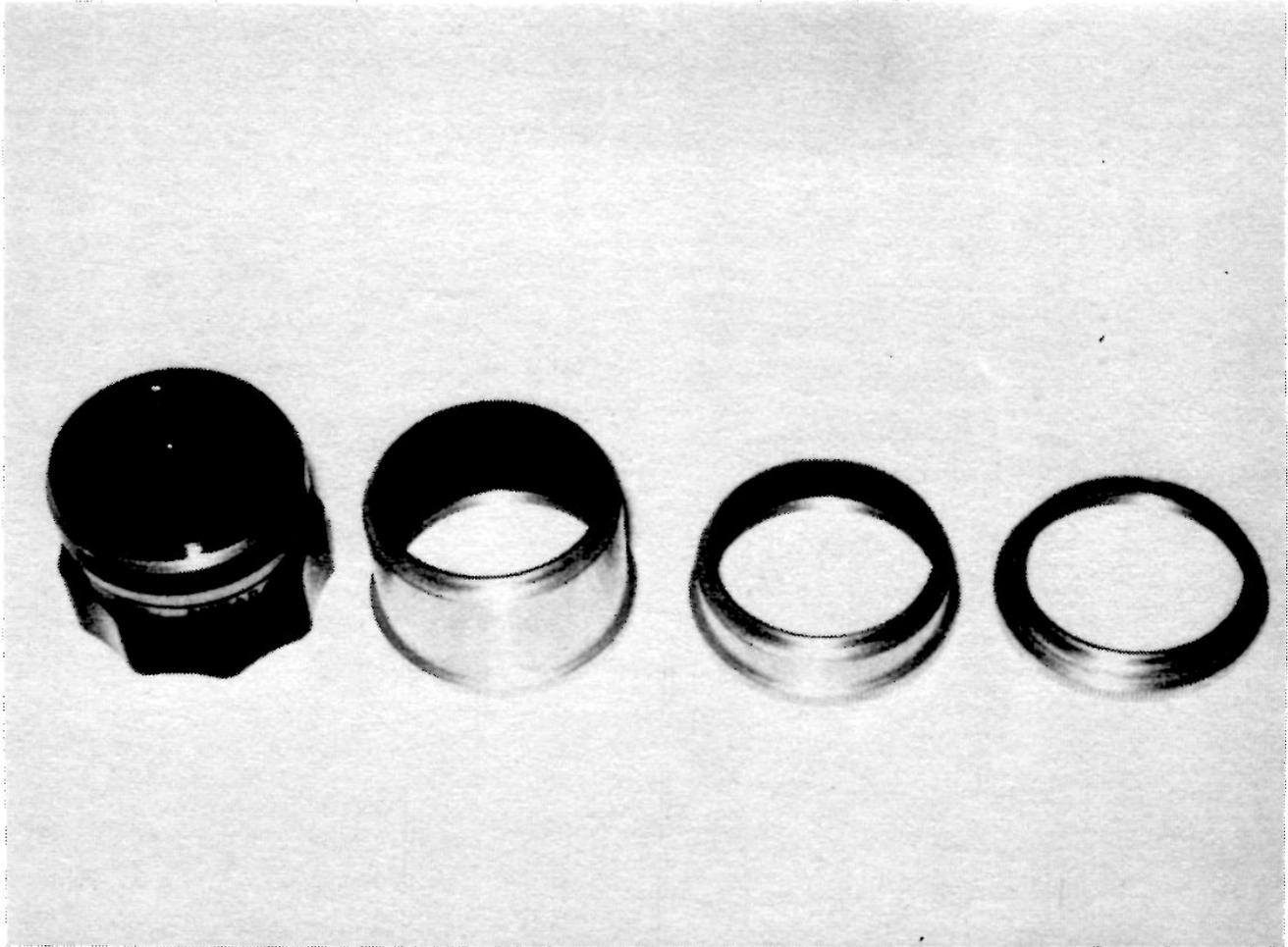


Fig. 13. — La lentille convergente et ses applications.

Ces deux expériences constituent la base de tout ce qui touche aux travaux photographiques avec changement d'échelle, base qui était déjà connue depuis Léonard de Vinci, à ceci près que les lentilles étaient remplacées par un petit trou dans la paroi des boîtes utilisées comme chambres noires.

Un objectif photographique n'est rien d'autre qu'un assemblage de lentilles dans une monture, le tout étant équivalent à une seule lentille convergente de très bonne qualité. C'est autour de cette pièce maîtresse que sont construits ap-

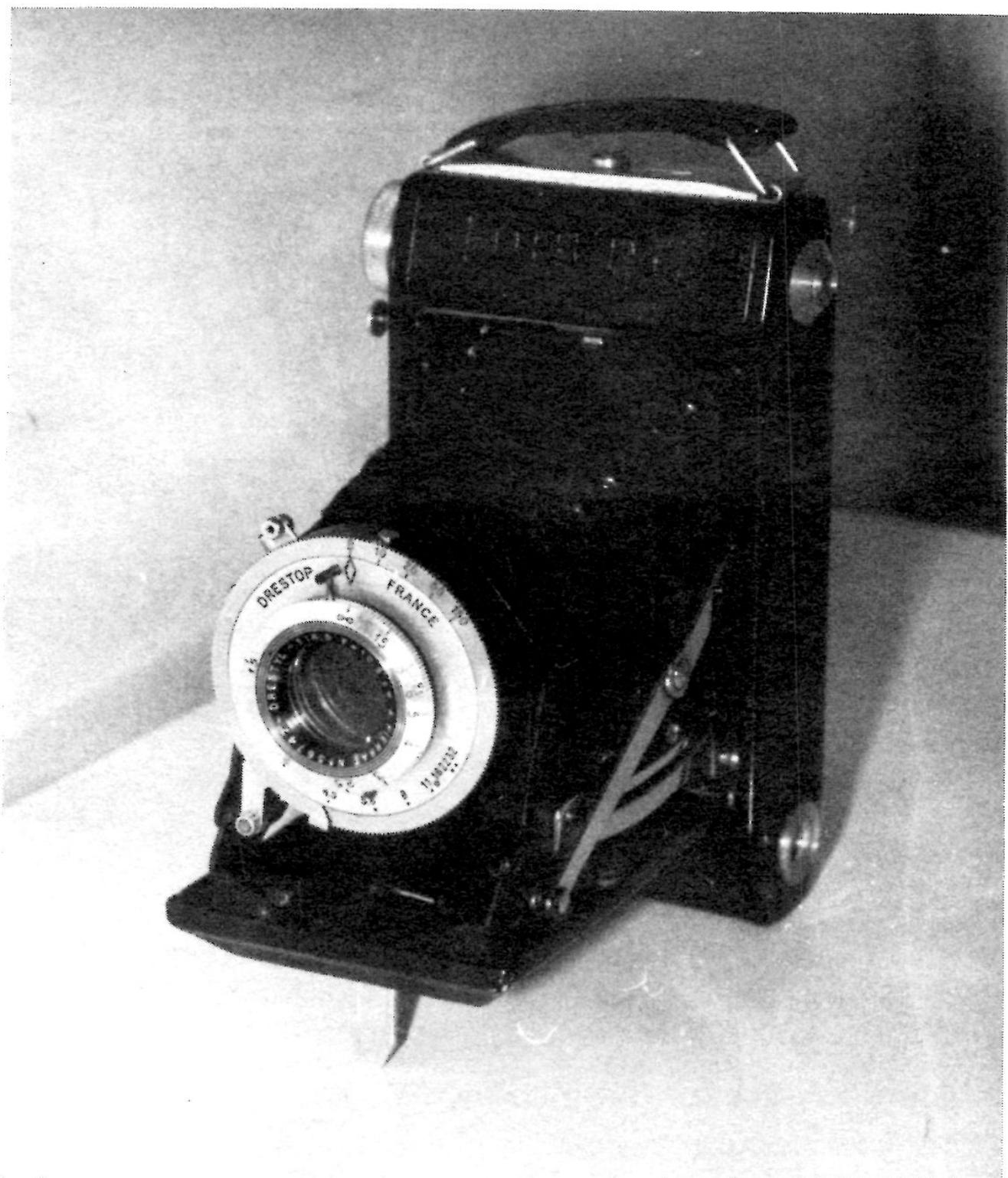


Un objectif d'agrandisseur fileté au pas standard « 42 à vis » permet le réemploi des bagues allonge et des accessoires prévus pour l'appareil photo.

pareils photographiques et agrandisseurs, ainsi que les bancs de reproduction des professionnels qui ne sont en fait que des appareils photographiques ou des agrandisseurs dont les dimensions sont assez colossales, et le prix également...

2-2. L'appareil photographique (fig. 14).

Observons attentivement un appareil photographique (de préférence de type ancien) en commençant par l'avant : nous nous trouvons d'abord en face de l'objectif, qui est caractérisé par sa *focale*, exprimée en millimètres (50, 120, etc.). Sur la *figure 13a*, la focale est tout simplement la distance d_2 correspondant à une distance d_1 théoriquement infinie (en pratique, supérieure à quelques dizaines de mètres). La monture de l'objectif comporte une bague graduée en mètres appelée bague des distances ou bague de mise au point : le fait de la tourner



*Un appareil photographique de modèle ancien peut rendre d'appré-
ciables services en photogravure.*

enfonce plus ou moins l'objectif dans le boîtier, ce qui permet de faire varier d_2 dans un domaine suffisant pour couvrir les utilisations courantes (d_1 variant de quelques dizaines de centimètres à l'infini). Pour les utilisations spéciales (d_1 très peti-

te), il faut, soit modifier les caractéristiques de l'objectif en lui ajoutant une lentille supplémentaire appelée *bonnette*, soit écarter l'objectif du boîtier plus que ne le permet l'action de la bague des distances, en intercalant des *bagues-allonge* entre objectif et boîtier (opération réalisable seulement avec les appareils à objectif interchangeable). En effet, plus d_1 diminue, et plus il faut augmenter d_2 et, par là même le grandissement obtenu sur le cliché.

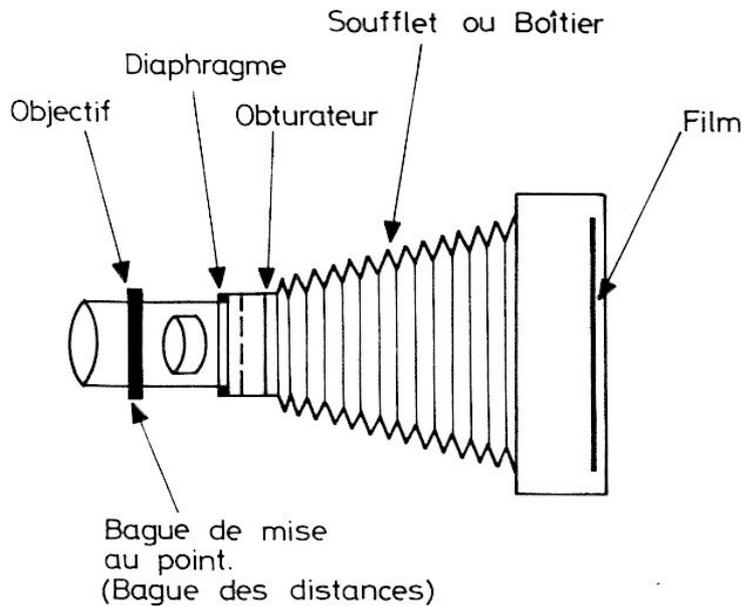


Fig. 14. — Schéma simplifié d'un appareil photographique.

Le second réglage prévu sur l'objectif sous forme de bague est celui du diaphragme : si nous observons l'intérieur de l'objectif pendant la rotation de cette bague, nous pouvons apercevoir une ouverture circulaire changer de diamètre au centre de l'objectif. Ces changements de diamètre correspondent à différentes quantités de lumière autorisées à traverser l'objectif. La bague des diaphragmes porte un certain nombre de graduations repérant le degré d'ouverture de ce « robinet à lumière » ou « potentiomètre optique » : 1 ; 1,4 ; 2 ; 2,8 ; 4 ; 5,6 ; 6,3 ; 8 ; 11 ; 16 ; 22 ; 32 par exemple.

Le diamètre de l'ouverture du diaphragme est obtenu en divisant la focale de l'objectif par la valeur portée sur la bague : pour un objectif de focale 50 mm diaphragmé à $f/2$, le diamètre de l'ouverture est 25 mm. Un diaphragme important (par exemple 16 ou 22) correspond donc au passage d'une faible

quantité de lumière. Un objectif très lumineux devra permettre de descendre à 2,8, ou 2, voire mieux. Cette valeur minimale du diaphragme est souvent indiquée dans les caractéristiques en même temps que la focale (exemple : 50/2,8 correspond à un 50 mm pouvant ouvrir jusqu'à f/2,8). Ceci explique pourquoi les objectifs de longue focale très lumineux présentent un diamètre important.

La vitesse d'obturation se règle soit par une troisième bague, soit par un bouton monté sur le boîtier de l'appareil. Il s'agit en fait du temps pendant lequel on permet à la lumière d'entrer dans l'appareil et donc d'impressionner le film (1/500, 1/250, 1/125, 1/60, 1/30 de seconde, et pose, c'est-à-dire durée commandée manuellement).

L'effet de cette commande paraît analogue à celui du diaphragme : pour un film de sensibilité donnée, il revient au même de faire pénétrer une quantité de lumière donnée pendant un temps donné que de faire pénétrer une quantité deux fois plus importante pendant un temps deux fois plus court. En photographie classique, d'autres facteurs interviennent : si le sujet se déplace assez vite pour qu'on ne puisse pas le considérer comme immobile pendant l'ouverture de l'obturateur, l'image sera floue, d'où l'intérêt des vitesses élevées pour la photographie des sujets en mouvement. Par ailleurs, on ne peut être assuré de la netteté de tous les plans du sujet (parties rapprochées comme parties éloignées) que si le diaphragme est très peu ouvert.

Il résulte de tout ceci que le réglage correct du diaphragme et de la vitesse d'obturation ne peut résulter que d'un compromis qui dépend beaucoup des qualités artistiques que l'on désire conférer à l'image.

En photogravure, les considérations artistiques n'interviennent pas : on recherche la netteté maximum, et une pose de plusieurs secondes n'est pas un problème car le sujet est immobile et l'appareil de prises de vues solidement monté sur un support stable. On choisira donc presque toujours des diaphragmes très fermés (supérieurs à 8), et on opérera *en pose*, sous un éclairage intense (1 à 4 lampes de 100 à 250 W) pendant plusieurs secondes, en raison de la faible sensibilité des films employés, les films les moins sensibles donnant les images les plus fines (films dits à grain fin).

Tout cet appareillage est fixé à la partie frontale de l'appareil, dont le boîtier peut être rigide ou bien être constitué en partie d'un soufflet (appareils pliants). Le fond du boîtier sert de fenêtre d'exposition au film, abrite les bobines réceptrice et débitrice, ou parfois un chargeur. L'obligation d'exposer tout le film (de 8 à 36 poses suivant le format) avant de procéder à son développement est un sérieux handicap pour la photogravure où un résultat rapide est recherché. Dans la majeure partie des cas, on disposera dans l'appareil un morceau de plan film « lith » découpé au format d'une image et que l'on pourra par conséquent développer sitôt la pose terminée (toutes ces opérations se dérouleront bien sûr en lumière inactinique).

Les lecteurs ne possédant pas d'appareils photographiques doivent savoir que les modèles les plus anciens sont ceux qui conviennent le mieux aux travaux envisagés et sont assez faciles à récupérer ou à acheter pour une bouchée de pain. Ce type d'appareil peut même, moyennant quelques adaptations, servir d'agrandisseur de fortune, comme le paragraphe suivant permet de s'en convaincre.

A la limite, même un appareil dont l'obturateur serait quelque peu défaillant pourrait convenir, à condition que la commande de pose permette encore de maintenir l'obturateur ouvert.

2-3. L'agrandisseur (fig. 15).

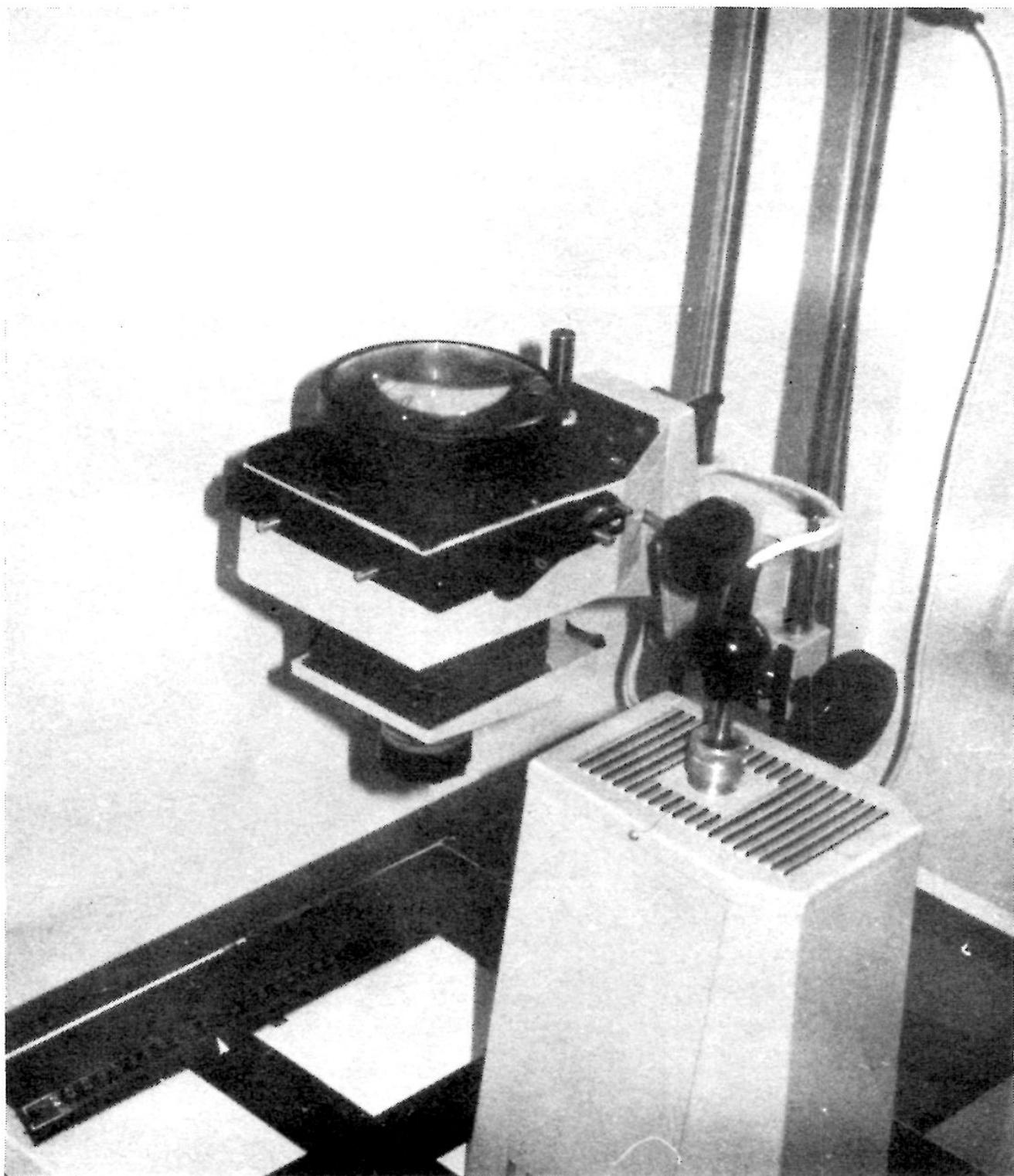
Cet appareil que l'on rencontre dans tous les labos photo est en fait un appareil photo simplifié, muni d'une « boîte à lumière » et fixé sur une colonne à crémaillère surplombant un plateau.

Il permet de projeter sur une surface sensible disposée sur le plateau l'image agrandie d'un document transparent de petite taille introduit dans le passe-vues (en photographie classique, il s'agit tout simplement d'un négatif que l'on désire agrandir sur papier).

Nous verrons qu'en photogravure, l'agrandisseur peut également servir à exécuter des prises de vues.

La source de lumière de l'appareil est une ampoule opalisée (40 à 150 W) montée au-dessus d'un ensemble de grosses lentilles formant le condenseur, (ou condensateur). Cette piè-

ce a pour fonction de concentrer sur le cliché les rayons lumineux provenant de l'ampoule, qui sont émis dans toutes les directions. Le cliché reçoit ainsi un éclairage uniforme. L'ampoule et le condenseur sont disposés dans une enceinte de



Vue intérieure d'un agrandisseur, montrant le condenseur (boîte à lumière démontée).

forme rectangulaire ou arrondie, appelée boîte à lumière, qui est percée d'ouvertures assurant la ventilation de la lampe, mais évitant les fuites lumineuses susceptibles de voiler les surfaces sensibles.

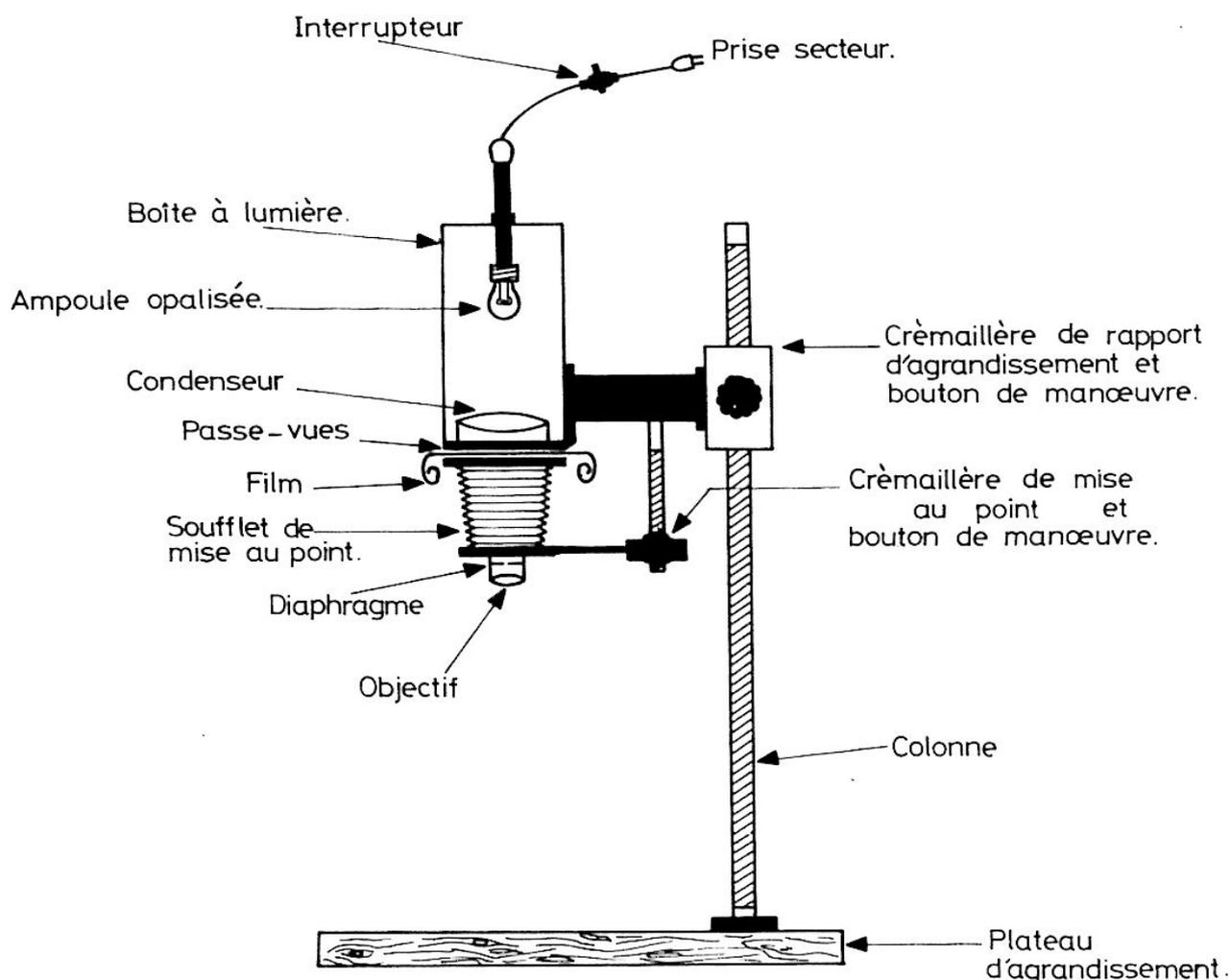


Fig. 15. — Schéma simplifié d'un agrandisseur.

Sous cette boîte à lumière se trouve le passe-vues, organe mécanique plus ou moins complexe permettant d'assurer la planéité du document qui y sera introduit. Certains passe-vues simplifiés exigent que le cliché appartienne à une bande assez longue. En photogravure, il importe que le passe-vues accepte sans difficulté des images isolées, même si leur format n'est pas standard. Le passe-vues le plus pratique est donc le modèle à verres, dans lequel le document est pressé entre deux fines plaques de verre traité optiquement. Le plateau porte-objectif est relié au passe-vues par un soufflet dont la lon-

gueur peut être ajustée avec précision au moyen d'un bouton agissant sur une crémaillère. La mise au point peut donc se régler même si l'objectif n'est pas muni de la bague correspondante.

Les possesseurs d'un appareil photographique acceptant les objectifs de pas standard dit « 42 à vis » ont tout intérêt à choisir un agrandisseur recevant des objectifs filetés à ce même pas. Ils pourront ainsi adapter sur l'agrandisseur les accessoires (objectifs, bagues, allonge, etc.) de leur appareil, ce qui est précieux pour certains travaux spéciaux.

Le plateau d'agrandissement et la colonne à crémaillère ne doivent pas être considérés comme des organes secondaires : un agrandisseur branlant se révélera incapable d'utiliser au mieux les qualités de ses éléments optiques. On choisira un modèle équipé d'un plateau épais, parfaitement plan, et de grandes dimensions, ainsi que d'une colonne très rigide et solidement fixée au plateau. La souplesse de fonctionnement de la crémaillère est aussi un facteur important pour la qualité de service de l'appareil.

En ce qui concerne l'objectif, il n'est pas primordial d'acquiescer un modèle très lumineux puisque nous avons vu que les diaphragmes utilisés seront le plus souvent les plus fermés. Si l'on a pris soin de s'assurer de la compatibilité de pas, on peut même se dispenser de l'achat d'un objectif d'agrandissement, celui de l'appareil photo étant très suffisant pour les travaux de photogravure.

L'examen comparé des *figures 14 et 15* montre de nombreuses analogies entre l'agrandisseur et l'appareil photo. C'est pourquoi il est tout à fait envisageable d'équiper un ancien appareil photo (format 6 × 9, 6 1/2 × 11, 6 × 6, etc.) d'une boîte à lumière et d'un support de fabrication personnelle évitant ainsi l'achat d'un appareil de réalisation industrielle.

Cette solution ne peut toutefois être que provisoire, les qualités de cet équipement de fortune pouvant s'avérer insuffisantes par la suite.

2-4. L'équipement général du laboratoire.

En plus du « matériel lourd » que représentent appareil photo, agrandisseur, châssis d'exposition, etc., divers accessoires sont indispensables à l'équipement d'un laboratoire valable :

- Le passage des surfaces sensibles dans plusieurs bains impose l'existence de *cuvettes de traitement*. Trois cuvettes de couleurs différentes et de format au moins égal à 13 x 18 cm peuvent suffire pour tous les travaux courants. Pour les travaux de photogravure, il y a lieu de s'assurer que le matériau dans lequel sont réalisées les cuvettes résiste parfaitement aux solvants du type xylène ou trichloréthylène. Les modèles vendus par les négociants photo sérieux présentent généralement cette qualité.



Deux ou trois cuvettes et un minimum de produits chimiques suffisent pour traiter les plan films « lith » dans de bonnes conditions.

- La plupart des produits utilisés en photographie et photogravure ayant à plus ou moins long terme, des effets néfastes sur la peau, il est vivement recommandé de manipuler les films ou plaquettes plongés dans les cuvettes au moyen de *pincés spéciales* (peu coûteuses) et éventuellement de porter des *gants de protection* en caoutchouc.

- La préparation des bains de traitement nécessite la mesure précise de volumes d'eau ou de liquides divers. Une

eprouvette graduée d'une contenance égale ou supérieure à 250 cm³ est presque indispensable. Un modèle en matière plastique (même remarque que pour les cuvettes en ce qui concerne la résistance aux solvants) est moins fragile et moins coûteux qu'un modèle en verre.

- La conservation des produits liquides nécessite plusieurs *flacons*, de capacité adaptée à la quantité de produit à conserver. Ils pourront être en verre *teinté* pour les résines, solvants, et autres produits volatils, et en plastique opaque et souple pour les révélateurs et fixateurs photo. Il est ainsi possible, par simple pression avant bouchage, de chasser l'air présent dans les bouteilles de révélateur, afin de prolonger leur conservation. Un étiquetage parfaitement lisible sera prévu sur chaque récipient : ne pas hésiter à apposer la mention « dangereux ».

- Le séchage des clichés humides est grandement facilité par l'emploi de *pincés à linge* permettant de les étendre à un fil. Le séchage des couches de résine polymère peut être accéléré très notablement grâce à l'emploi d'un pistolet *sèche-cheveux* électrique.

- L'éclairage du laboratoire doit être assuré de diverses façons, suivant les opérations effectuées. Il va de soi que, pour les travaux devant se dérouler en lumière inactinique, des *panneaux d'obturation* efficaces devront masquer les ouvertures de la pièce servant de laboratoire. Toutes les fuites de lumière seront systématiquement dépistées et colmatées.

Pour le choix des *Lanternes de laboratoire*, on pourra se reporter au § 1-2 du présent chapitre.

- La création de dessins de circuits imprimés ou de plaques-décor nécessite un minimum de matériel, à commencer par un *bloc de papier calque* de format approximatif 21 × 29,7 cm.

Un *stylo à encre de chine* ou encore une simple plume à normographe constitue la solution la plus économique, en faisant appel à différents types de *règles* et *trace-lettres*. Il est également possible de se procurer d'innombrables types de *symboles à transfert* ou auto-collants d'emploi très pratique mais assez coûteux à la longue.

Chaque opérateur découvrira sans doute la nécessité d'utiliser d'autres accessoires, selon les travaux qu'il entrepren-

dra. Il est important de remarquer que le matériel nécessaire est rarement coûteux, eu égard aux services rendus.

2-5. Les produits chimiques et leur préparation.

Dans la grande majorité des cas, il est plus avantageux, à tous points de vue, de se procurer des produits chimiques tout préparés, selon des formules éprouvées et des méthodes de dosage rigoureuses. Nous donnerons plus loin les formules de certains produits difficiles à se procurer, mais pouvant être utiles dans de nombreux cas.

Si les résines polymères et leurs révélateurs sont souvent fournis prêts à l'emploi, les autres produits photographiques sont habituellement livrés sous forme de liquide concentré à diluer dans de l'eau, ou sous forme d'une ou plusieurs poudres à dissoudre dans un certain volume d'eau selon une procédure figurant sur le mode d'emploi, et qu'il convient de suivre scrupuleusement. *En aucun cas* il ne faut fractionner une dose de poudre en vue de préparer un volume de solution plus petit que celui prévu par le fabricant : certains constituants essentiels étant présents sous forme de fractions de gramme, et le mélange n'étant pas toujours homogène il est à peu près certain que les fractions de doses réalisées seront très différentes au point de vue composition, et par conséquent inutilisables. Un liquide concentré, par contre, peut être fractionné à loisir, à condition de conserver le reste de la dose dans de bonnes conditions (à l'abri de l'air et de la lumière).

L'eau servant à la préparation des bains photographiques devrait, en principe être distillée. Si l'eau du robinet disponible est très riche en corps étrangers (eau de Javel notamment) on peut se servir d'une eau de source en bouteilles, très peu minéralisée et, bien sûr, non gazeuse.

2-5-1. Bain d'arrêt.

Ce bain, dont la formule est indiquée ci-dessous, possède la propriété d'arrêter l'action du révélateur sur un film sorti de la cuvette de développement. Il peut être remplacé par un rinçage à l'eau qui ne fait cependant que ralentir cette action : le film doit donc être plongé sans retard dans le bain de fixage.

Acide acétique à 28 %	100 cm ³
Eau	1 litre

2-5-2. Fixateur acide.

Cette formule peut être substituée aux fixateurs commerciaux, spécialement si on n'utilise pas de bain d'arrêt mais un simple rinçage.

Thiosulfate de soude cristallisé	200 g
Bisulfite de soude	25 g
Eau	800 cm ³
Après dissolution, compléter à	1 litre

2-5-3. Bain de blanchiment pour inversions (voir ch. 1, § 1-1-5-A).

1^{re} formule :

Solution A

Eau oxygénée à 12 %	25 cm ³
---------------------------	--------------------

Solution B

Acide acétique à 28 %	16 cm ³
Chlorure cuivrique	1 g
Compléter avec de l'eau jusqu'à	90 cm ³

Mélanger A et B juste avant l'emploi (1 + 1)

2^e formule :

Solution A

Acide sulfurique concentré	1 cm ³
Bichromate de potasse	1 g
Eau	100 cm ³

Solution B

Soude caustique	200 mg
Sulfite de soude anhydre	4 g
Eau	100 cm ³

Le film doit séjourner 5 mn dans le bain A avant d'être rincé à l'eau, plongé 4 mn dans le bain B, et rincé à nouveau. Les solutions A et B ne doivent pas être mélangées.

Les bains de blanchiment sont corrosifs et toxiques. Ils attaquent la plupart des métaux et ne doivent donc être mis en contact avec aucun objet métallique.

Prescriptions de sécurité. Précautions à prendre.

Dans les pages précédentes, nous nous sommes attaché à avertir le lecteur chaque fois qu'un danger pouvait le menacer, si peu que ce soit, au cours des opérations qui ont été décrites.

D'autre part, la réussite complète des travaux entrepris exige certains soins, certaines précautions qu'il n'est peut-être pas inutile de préciser. Ce chapitre vient donc donner au lecteur les derniers conseils qui lui sont nécessaires avant la prise en mains du matériel.

1. LES RISQUES ENCOURUS DANS LE LABORATOIRE.

1-1. Les risques d'électrocution.

L'utilisation d'appareils électriques dans un local où sont manipulés des liquides très conducteurs (révélateurs, fixateurs, etc.) n'est pas sans poser quelques problèmes de sécurité.

En premier lieu, il est hors de question de conserver des prises ou des câbles de connexion dont l'isolement est défectueux, des douilles douteuses, etc. Les prises murales seront soigneusement vérifiées, et les prises situées en bout de câbles seront soit en caoutchouc, soit en plastique, version « extérieur ». Il est important de signaler que la mise à la terre d'un appareil (agrandisseur par exemple) n'est efficace que si toutes les autres masses métalliques accessibles sont reliées à cette même prise de terre.

Une solution garantissant une excellente sécurité consiste à alimenter tout le laboratoire au moyen d'un transformateur de séparation de puissance suffisante, rendant le secteur « flottant » par rapport à la terre. Aucune prise de terre n'est alors nécessaire (consulter éventuellement un électricien professionnel).

1-2. Le danger des rayons ultraviolets.

Les rayons UV émis par les tubes actiniques, par exemple, sont assez nocifs pour les yeux. En conséquence, on évitera soigneusement de regarder en face de tels tubes en service. Le couvercle du châssis d'exposition sera abaissé avant l'allumage des tubes, ou bien on portera des lunettes de soleil fortement teintées. Nous noterons également qu'une exposition très prolongée de la peau à ces rayonnements pourrait occasionner une sorte de « coup de soleil » assez désagréable.

Avec un châssis réalisé selon nos plans et correctement utilisé, aucun désagrément n'est à craindre à ce sujet.

1-3. Les risques dûs aux produits chimiques:

Pratiquement tous les produits utilisés en photographie et en photogravure présentent une certaine toxicité, ce qui impose des précautions d'emploi élémentaires. De plus, certains d'entre eux sont particulièrement inflammables. Les produits vendus sous forme de poudres seront manipulés avec toutes les précautions nécessaires pour éviter l'inhalation ou la projection dans les yeux de parcelles pulvérulentes.

Les liquides aqueux seront touchés le moins possible avec les doigts, car, outre leur toxicité, ils sont parfois corrosifs. Le matériel (cuvettes, éprouvettes, pinces, etc.) sera rincé abondamment après usage.

Les liquides contenant des solvants (résines polymères et leurs révélateurs) devront en plus être manipulés dans des locaux parfaitement ventilés. Le fait de respirer les vapeurs qui s'en dégagent est en effet nuisible à la santé et peut, à l'extrême limite être mortel. Ces produits seront conservés dans leur emballage d'origine sur lequel sont généralement énumérées les prescriptions de sécurité à observer. Toute projection de liquide dans les yeux devra être évitée ou suivie d'un abondant lavage à l'eau courante.

Un *étiquetage* parfaitement lisible, portant la mention *Dangereux* devra être prévu sur chaque emballage de produits chimiques. Les initiés ne sont en effet pas les seuls à avoir accès au laboratoire.

Le regroupement en quelques paragraphes de tous les risques encourus par le photographe amateur ne doit en aucune façon l'effrayer. Ceux-ci ne deviennent en effet alarmants

qu'en cas d'utilisation continue du laboratoire. Il est rarissime qu'un incident de quelque gravité se produise au niveau de l'amateur. Il nous a néanmoins semblé utile de ne rien cacher au lecteur des propriétés des produits que nous allons lui faire manipuler. Ne dit-on pas qu'un homme averti en vaut deux ?

2. LES SECRETS D'UN TRAVAIL SOIGNÉ.

Même le matériel industriel le plus perfectionné ne peut donner que des résultats médiocres si l'opérateur ne prend pas un minimum de précautions. En revanche, un équipement très simple comme celui de l'amateur qui aura suivi nos conseils est capable de conduire à des résultats de qualité professionnelle moyennant un peu de soin. Il est impossible d'énumérer ici tous les facteurs susceptibles de compromettre le succès de l'entreprise, et nous nous limiterons donc à en citer quelques-uns parmi les plus courants.

- Une surface photosensible, quelle qu'elle soit, est formée d'une couche très lisse d'un produit initialement liquide. C'est dire qu'un tel dépôt est assez fragile et qu'il convient de le manipuler soigneusement. Un film photographique devra toujours être *tenu par les coins*, surtout si des traces de produits ou même d'eau sont restées sur les doigts. On évitera également tout contact avec un objet humide ou susceptible de causer des *rayures*.

Une surface sensible devenant beaucoup plus fragile lorsqu'elle est mouillée, on redoublera de précautions aussi bien avec les films qu'avec les matériaux enduits de résines polymères dès qu'ils auront été plongés dans leur premier bain de traitement, et ce, jusqu'à la fin du séchage.

- Lors d'un agrandissement ou d'une réduction d'un document comportant de fins détails, on se livrera à une sévère chasse aux *poussières*, car ces particules se traduiraient par autant de points noirs ou blancs sur le cliché final, au point de le rendre inutilisable.

- La *température* d'un bain photographique est un paramètre assez important qu'il convient de surveiller attentivement. On s'efforcera de rester aux alentours de la valeur indiquée par le fabricant du révélateur (souvent 20 °C). D'autre part, on évitera de rincer à l'eau très froide ou très chaude une surface sensible sortant d'un bain tempéré, les phénomènes

de dilatation et de contraction pouvant créer de graves défauts.

- Lors du tirage d'un cliché, on s'efforcera de respecter le temps de développement indiqué dans la notice du révélateur : ce temps correspond à l'obtention des meilleurs résultats.

Pour un procédé d'exposition donné, on se livrera donc à quelques essais de tirage, avec différents temps de pose, et on choisira celui pour lequel un cliché correct est obtenu au bout du temps de développement indiqué. Cette remarque est valable aussi bien pour les films photo que pour les résines polymères.

En règle générale, on ne tentera pas de gagner du temps par rapport à ce qui est annoncé par les fabricants des divers produits utilisés en écourtant tel ou tel rinçage, en exposant davantage et en développant moins longtemps, etc. La photogravure est une technique assez simple à mettre en œuvre, mais qui demande du soin et de la patience. Nanti de ces deux qualités, tout expérimentateur ayant correctement assimilé les pages précédentes peut passer à la pratique avec toutes les chances de parvenir à un succès total.

Quelques exemples pratiques de travaux réalisables.

Ayant maintenant achevé d'exposer les différents procédés utilisables ainsi que les précautions à prendre pour maîtriser les techniques de photogravure, nous allons à présent décrire pas à pas, du début à la fin, quelques exemples type de travaux réalisables pour un amateur moyennement équipé.



Diverses solutions utilisables pour tirer les circuits imprimés par voie photographique :

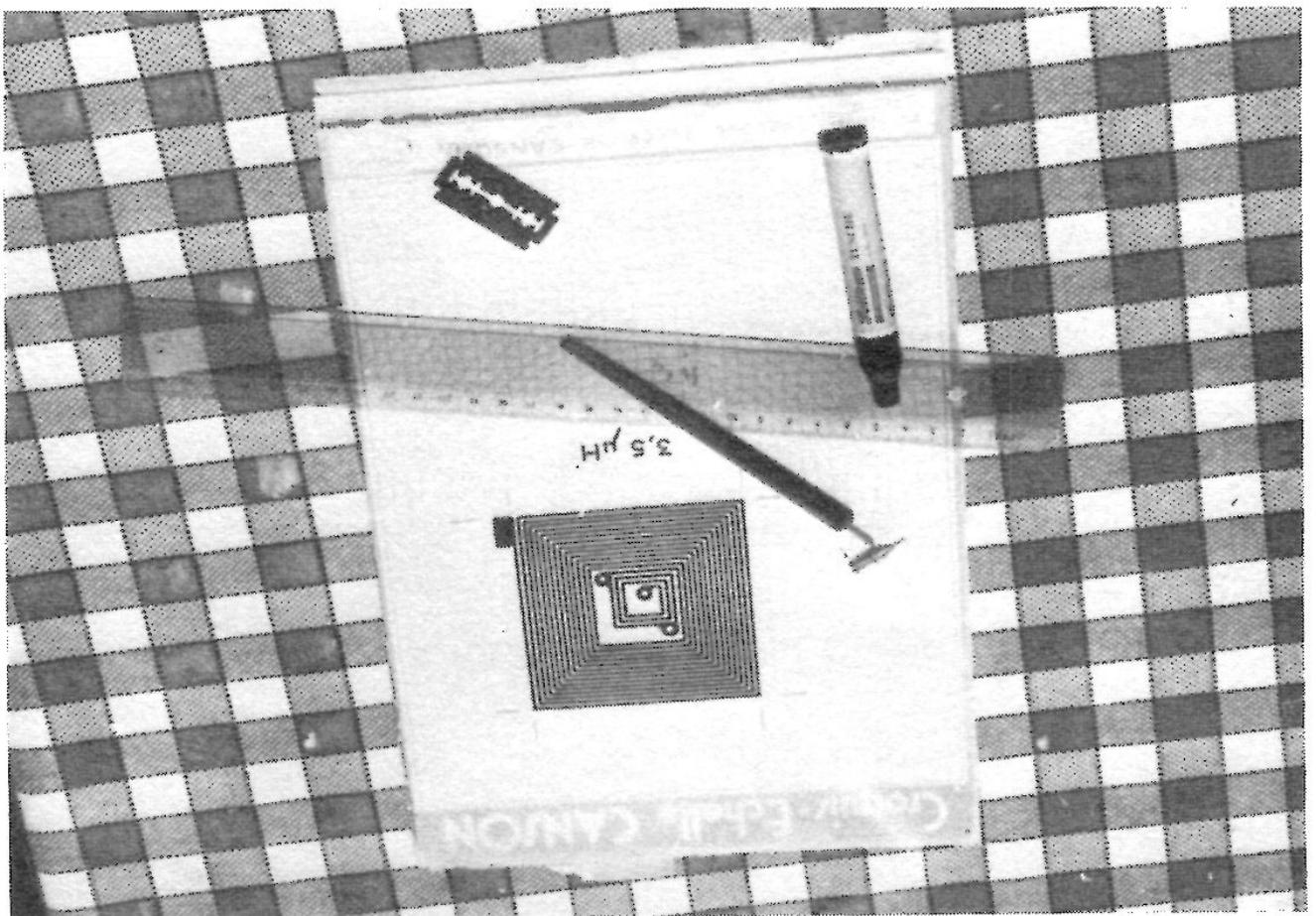
- Résine négative en bouteille avec ses produits associés (révélateur, solvants).*
- Plaquettes présensibilisées positives.*
- Résine positive en bombes aérosols.*

1. TIRAGE SUR RESINE POSITIVE D'UN CIRCUIT IMPRIME DESSINE SUR CALQUE.

Ce travail est le plus simple qui puisse être exécuté par un débutant en photogravure ; il ne requiert que très peu de matériel et constitue le trait d'union entre les techniques de gravure directe (tracé du dessin sur la plaquette à l'aide d'un vernis ou d'une encre spéciale ou encore de symboles à transfert) et les procédés photographiques.

1-1. Réalisation du dessin des connexions (fig. 16).

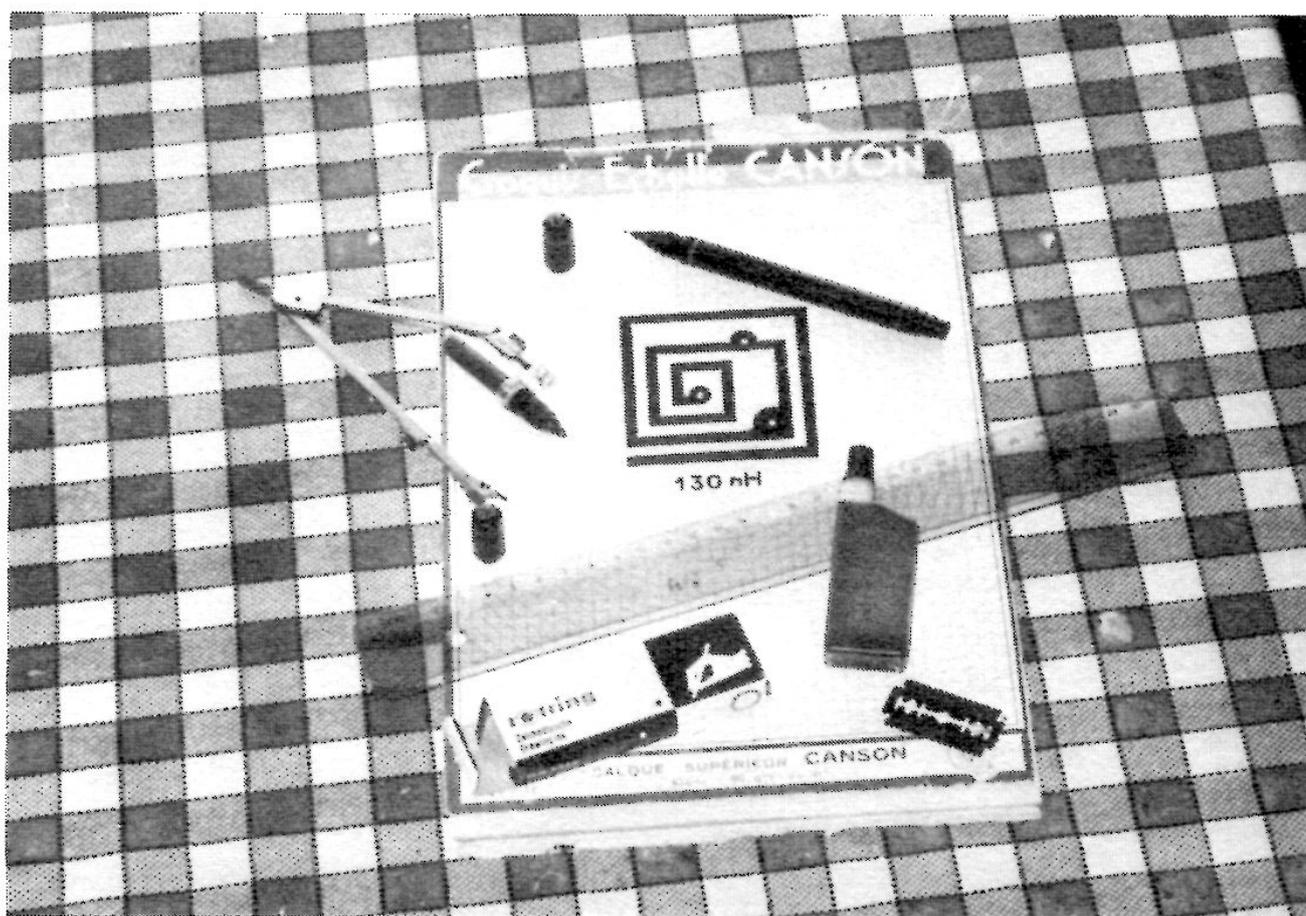
Un circuit imprimé est une plaquette isolante percée de trous dans lesquels sont enfilés les fils de raccordement des composants du montage à câbler, et dont le dos porte des pistes cuivrées matérialisant les connexions électriques devant relier les composants entre eux. Les fils des composants sont soudés directement sur ces pistes qui peuvent parfois recouvrir les deux faces de la plaquette (technique « double face »). Le procédé de câblage sur circuits imprimés est de très loin le



Une simple plume à normographe peut suffire pour réaliser de bons dessins en vue d'une réduction photographique.

plus employé, tant dans l'industrie que dans le domaine « grand public », en raison des possibilités très étendues qu'il offre. Il n'existe pas vraiment de méthode à la fois systématique et simple pour déterminer le meilleur tracé des connexions. Une « recette de cuisine » consiste à suivre de très près le schéma de principe, en conservant aux divers éléments leur disposition relative. Deux pistes ne pouvant pas se croiser (sauf en technique double face où il suffit de traverser la plaque au moyen d'un fil soudé sur les deux faces), si aucun moyen de contournement ne s'avère utilisable, il faut prévoir un « strap » c'est-à-dire un fil prenant la place d'un composant et reliant les deux moitiés de la piste interrompue, terminées chacune par une pastille à souder.

La *figure 16* donne quelques exemples des techniques de dessin habituellement employées. Le choix dépend du matériel de dessin disponible, des techniques photographiques que l'on peut mettre en œuvre, et du type de montage réalisé. En particulier, lors de l'étude d'un circuit haute fréquence (HF), il faut veiller à réduire le plus possible la longueur des



Un stylo à encre de chine et quelques accessoires permettent de solutionner tous les problèmes courants de dessin de circuits imprimés.

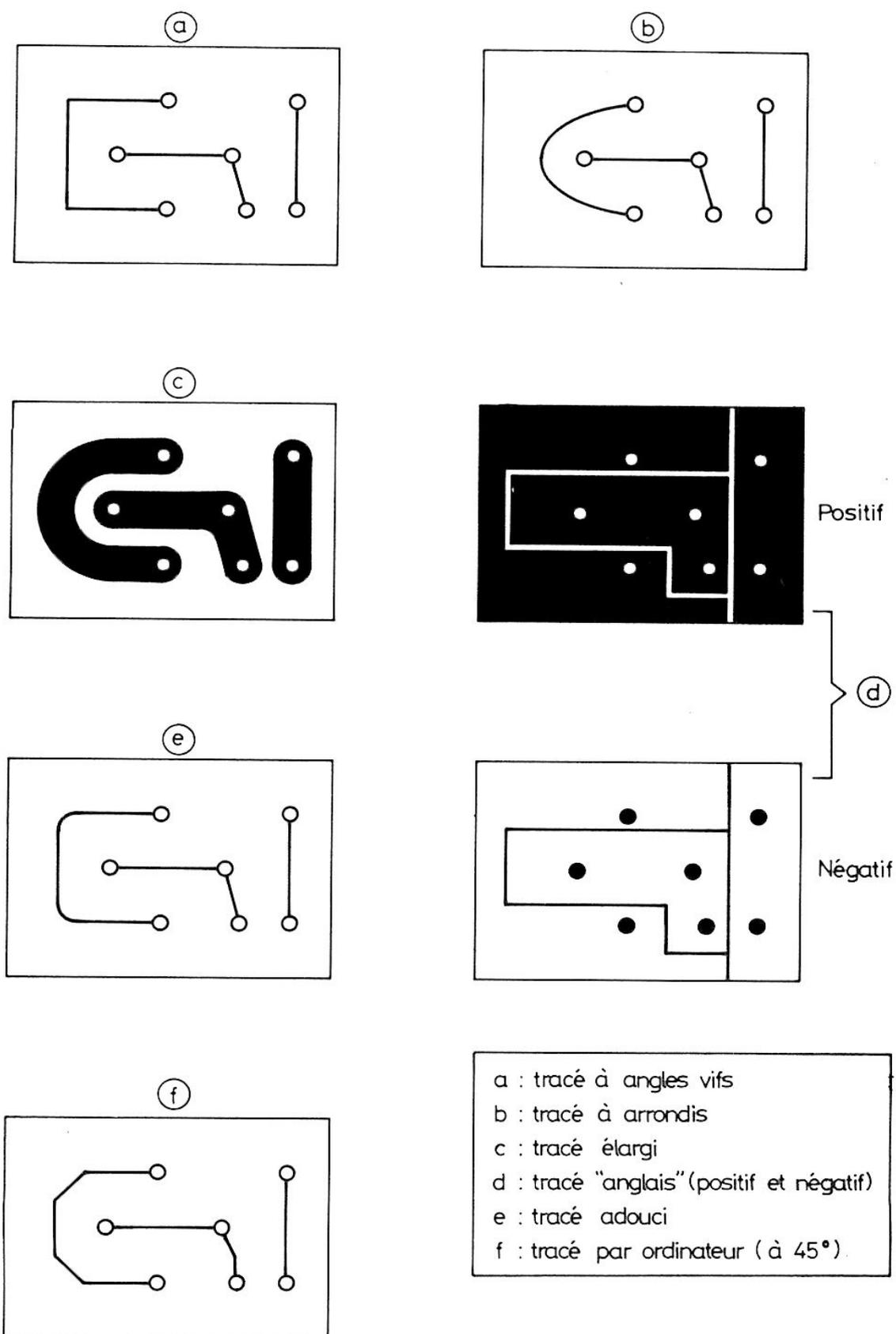


Figure 16. — Différents styles de dessin des circuits imprimés.

connexions, quitte à augmenter le nombre de straps nécessaires. Dans tous les cas, la réalisation d'un dessin de circuit imprimé demande une certaine habitude, un certain « sixième sens » qui s'acquiert assez rapidement en étudiant des circuits de plus en plus complexes.

Dans le domaine amateur, les tracés représentés en **(a)** et **(b)** sur la *figure 16* sont les plus utilisés car les plus simples à mettre en œuvre avec un matériel de dessin rudimentaire. Pour le tracé des pastilles au moyen d'un stylo à encre de chine, il est commode d'utiliser une pièce percée d'un trou de 3 mm de diamètre (par exemple un vieux triac en boîtier TO3 plastique) dans lequel on déplacera la plume de 1,2 mm de diamètre ; un trou de 0,6 mm de diamètre sera ainsi ménagé au centre de la pastille.

Le tracé représenté en **(c)** est utile dans les cas où des courants importants (plusieurs ampères) doivent traverser les pistes cuivrées (alimentations, ampli HiFi, etc.).

Le tracé représenté en **(d)**, appelé « anglais » par certains mauvais esprits du fait de son anticonformisme pourrait plutôt prendre le nom d'« écologique ». En effet, les parties cuivrées à attaquer sont très restreintes d'où une usure moins rapide des bains de gravure et des rejets à l'égout moins importants. Un tel dessin n'est jamais réalisé directement, on se contente de tracer le négatif, simplement constitué de traits et de points. Ce négatif peut servir à insoler directement une résine *négative* mais oblige à effectuer une copie inversée sur film orange, par exemple, si l'on ne dispose que d'une résine positive.

Les tracés **(e)** et **(f)** ne sont que des dérivés du tracé **(a)**, le premier bénéficiant d'un aspect plus esthétique, le second étant conforme aux exigences de la conception assistée par ordinateur (CAO) qui n'entre pas particulièrement dans le cadre de cette étude.

Avant de donner le « bon à tirer », une sérieuse vérification du dessin s'impose afin de s'éviter de désagréables surprises lors des essais du montage.

Le procédé « Image Transfert » 3M.

Ce procédé récent permet à tout utilisateur de fabriquer lui-même ses planches de symboles à transfert à partir d'un

original défini par lui. Ceci permet déjà de s'affranchir des limites fixées par les catalogues des fabricants, mais présente en outre un avantage déterminant en technique des circuits imprimés et en gravure des faces avant :

Les symboles ainsi réalisés peuvent, si nécessaire, être de très grande taille (dans les limites du format des feuilles) et résistent très bien aux agents de gravure. Le procédé peut donc représenter une alternative à l'utilisation de résines photosensibles ou de supports présensibilisés. Il suffit de tirer sur « image transfert » le motif désiré puis de le transférer avec beaucoup de soin sur le cuivre (dans le cas d'un circuit imprimé) ou directement sur la façade d'un boîtier dont la finition est suffisamment soignée (aluminium anodisé par exemple). Dans ce dernier cas, une application de vernis fixatif est recommandée (LET-FIX Mecanorma par exemple).

1) Présentation du matériau.

Ce matériau revêt l'aspect d'une feuille de plastique, noire et brillante sur ses deux faces, assez épaisse comparativement aux films photographiques habituels ou aux planches transfert du commerce. La raison de cette épaisseur est que deux feuilles transparentes plus minces sont réunies par une couche noire photosensible, légèrement adhésive d'un côté, et solidement attachée à l'un des supports transparents de l'autre. C'est cette couche noire très opaque qui, mise en forme par un procédé de photogravure, donnera naissance aux symboles susceptibles d'être transférés sur de nombreux matériaux.

Exposée pendant une à trois minutes à un rayonnement riche en ultraviolets, la couche noire négative cesse d'être soluble dans le révélateur spécial fourni avec les films. Sur le masque, les parties devant correspondre aux symboles proprement dits devront donc apparaître en transparent. Ce masque pourra être réalisé par contact ou réduction photo sur film LITH ou sur film « orange ».

2) La pratique du tirage (fig. 17).

La première opération consiste à identifier les faces du film : dans un coin de la feuille, on sépare légèrement les deux couches qui la composent. L'insolation aura lieu sur celle qui reste noire, sans toutefois retirer la protection transparente

Opérations à effectuer en lumière artificielle atténuée (jaune)

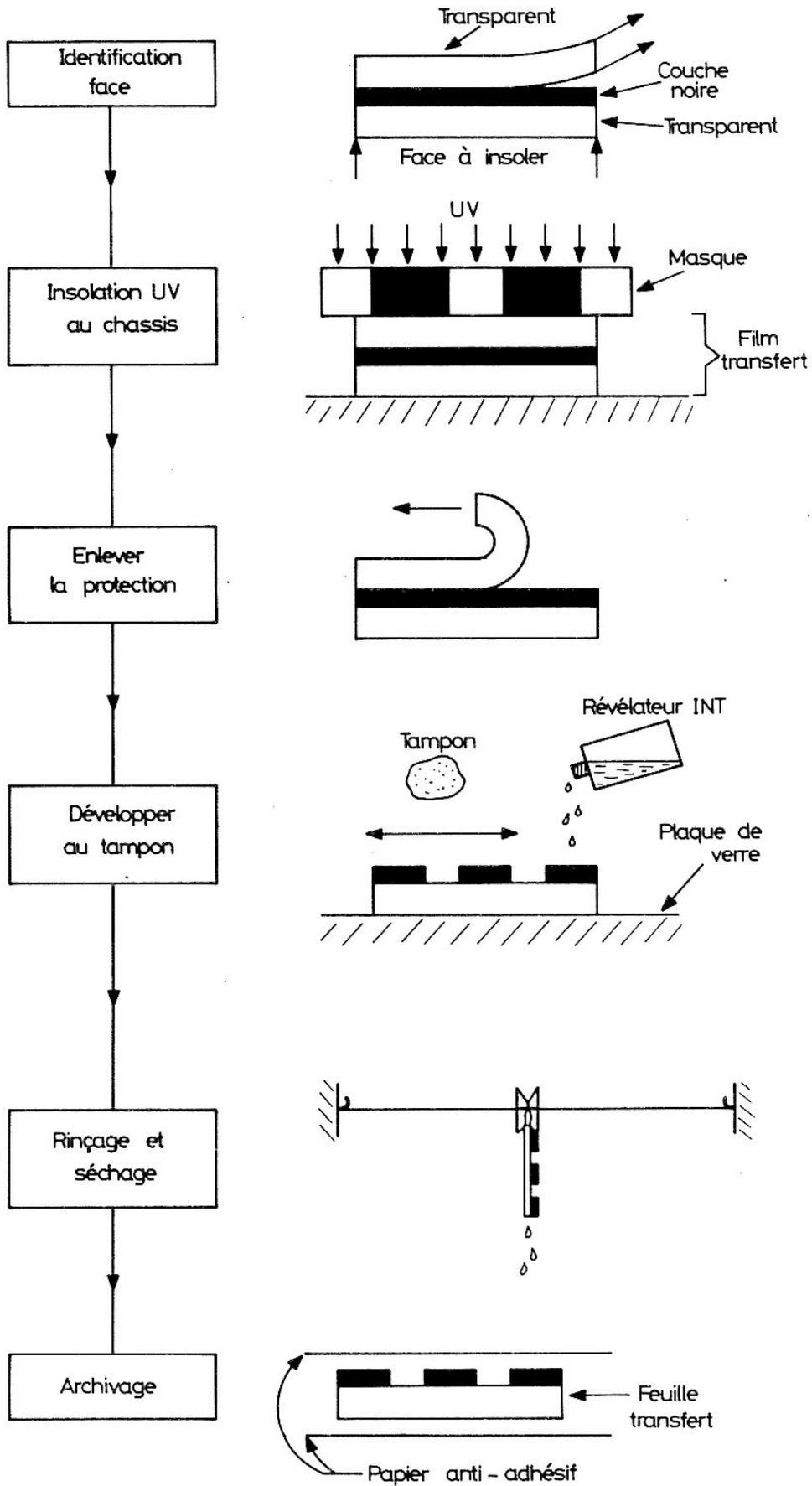


Fig. 17. — Le traitement du matériau « image transfert » 3M.

qui sera mise en contact avec le fond du châssis. On évitera ainsi tout dommage à la couche sensible.

L'exposition durera de une à cinq minutes suivant la source UV disponible. Une exposition insuffisante se traduit par un manque d'opacité des symboles et un excès d'exposition par une perte du pouvoir adhésif des symboles (même constatation dans le cas d'une insolation à travers la mauvaise face). Le développement sera entrepris après avoir « pelé » la feuille transparente de protection qui pourra, soit dit en passant, servir ultérieurement de film à dessiner (mylar).

Le film à développer sera posé face sensible vers le haut, sur une surface plane (plaque de verre, stratifié, etc.) et arrosé copieusement de révélateur. On frotera longuement et délicatement avec un tampon spécial ou un coton imbibé de ce même produit jusqu'à disparition complète des zones à dépouiller. Après un bref lavage à l'eau courante la feuille sera mise à sécher.

Le rangement des feuilles prêtes à l'emploi se fera avec le plus grand soin, entre deux feuilles de papier anti-adhésif destiné à éviter les transferts intempestifs.

On rappelle enfin que ce film doit être manipulé seulement en lumière artificielle atténuée (jaune). La lumière du jour comme les tubes fluorescents peuvent causer un voile irrémédiable.

Les feuilles développées, toutefois, résistent avec succès aux éclairages intenses rencontrés dans les divers types de châssis ou machines de tirage.

3) Utilisation.

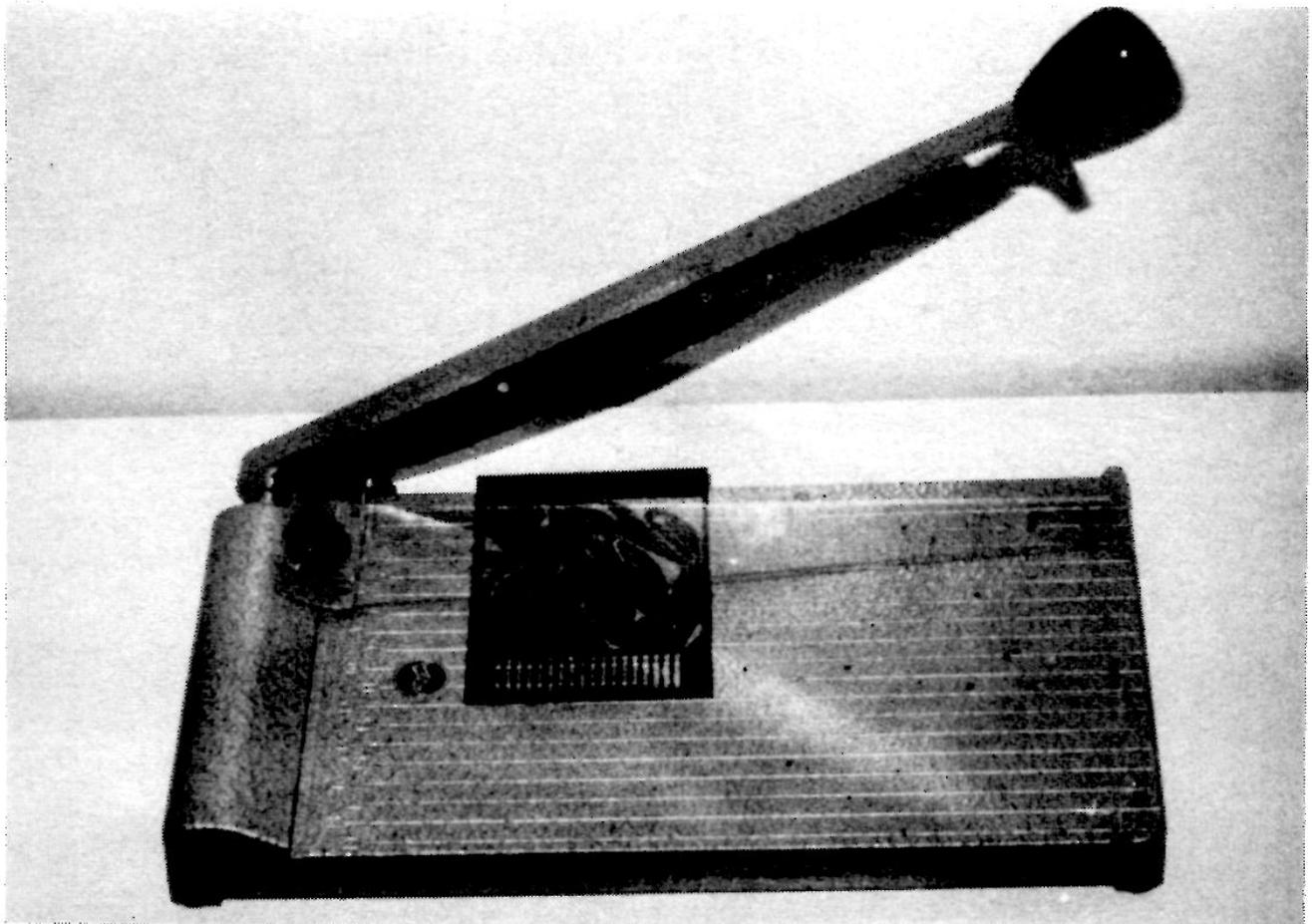
L'emploi de ces symboles est identique à celui des fabrications industrielles : le frottement d'un crayon ou mieux d'une spatule spéciale suffit au transfert. On veillera à éviter le transfert des symboles voisins à la suite de la pression d'un doigt par exemple.

L'opacité de ces symboles autorise des tirages irréprochables, et leur compatibilité avec l'emploi de l'encre de chine permet toutes les retouches et modifications. Ils adhèrent sur pratiquement toutes les surfaces y compris les métaux, d'où leur utilisation possible en gravure directe.

1-2. Préparation de la plaquette à graver.

- Si l'on fait usage de plaquettes présensibilisées, la seule préparation à effectuer est le découpage au format voulu, avec toutes les précautions nécessaires pour éviter les rayures. La plaquette découpée sera immédiatement utilisée, et le morceau restant soigneusement rangé dans son emballage d'origine, étanche à la lumière. Le découpage peut s'effectuer, après traçage, au moyen d'une scie à métaux ou mieux d'une cisaille à tôle ou d'un petit massicot garantissant des coupes très droites. Il est conseillé d'ébarber au papier de verre les arêtes de la plaquettes, afin d'éviter l'endommagement du cliché lors du pressage dans le châssis.

- L'amateur sensibilisant lui-même ses plaquettes a tout intérêt à n'effectuer cette opération qu'après découpage : le travail sera facilité et les problèmes de conservation et de manipulation ne se poseront pas. La plaquette brute devra être



Une forte cisaille de laboratoire permet le calibrage des films et, à la rigueur, le découpage des stratifiés pour circuits imprimés et des plaques décor.

parfaitement décapée à l'aide de poudre à récurer, par exemple, puis rincée longuement à grande eau. On pourra lui faire subir un traitement de surface améliorant la tenue de la couche de résine en l'immergeant pendant 30 secondes dans la solution suivante :

Acide chlorhydrique à 37 %	1 partie
Eau	3 parties

Enfin, un dégraissage sera effectué en frottant la surface cuivrée avec un chiffon imbibé du solvant suivant (qui peut également servir à enlever les restes de résine séchée) :

Trichloréthylène	1 partie
Alcool à brûler	1 partie

(produit dégageant des vapeurs nocives)
(et attaquant la peau)

La plaquette ainsi apprêtée peut maintenant recevoir (sans attendre) une couche de résine dans les conditions garantissant une adhérence maximale.

1-3. Sensibilisation d'une plaquette décapée.

La méthode d'étalement de la couche dépend beaucoup du conditionnement sous lequel a été achetée la résine.

Dans le cas d'une résine présentée en bombe aérosol, on suivra les instructions figurant dans le mode d'emploi, avec toutefois une possibilité d'amélioration : si la plaquette est de dimensions modestes, on pourra la fixer provisoirement (ruban adhésif double face) sur le plateau ponceur rotatif adaptable sur une perceuse électrique. L'outil sera alimenté à travers un variateur de vitesse, de façon à ne pas dépasser quelques dizaines de tours par minute. C'est sur la plaquette en rotation que l'on pulvérisera la résine, qui formera une couche très uniforme.

Dans le cas d'une résine en vrac, la méthode donnant les meilleurs résultats pour une consommation des plus réduites est la suivante :

- Si un solvant spécial est fourni pour diluer la résine, on réalisera une dilution à 50 %.

- A l'aide d'une seringue, on prélèvera 1 à 2 cm³ de ce mélange et on couvrira la surface de la plaquette de gouttes espacées de 1 à 3 cm.

- Très vite, on étalera ces gouttes sur toute la plaquette, sans oublier les bords ou les coins, au moyen d'un doigt ou de tout accessoire plus pratique, mais dans tous les cas *en croisant* 1 ou 2 fois comme en peinture. En aucun cas la couche ne doit sécher avant la fin de cette opération, sinon nettoyer la plaquette au solvant puis renouveler l'opération en augmentant la dose de résine ou à vitesse plus importante.

- Sècher la couche au moyen d'un sèche-cheveux électrique soufflant de l'air chaud (ne pas dépasser 80 °C). En l'absence de cet accessoire, le temps de séchage varie selon les types de résines de 5 minutes à 24 heures. Le sèche-cheveux réduit ces temps à 1 ou 2 minutes.

Il convient de noter que les couches les plus fines donnent presque toujours les meilleurs résultats.

1-4. Insolation de la plaquette sensibilisée.

A l'intérieur du châssis d'exposition, disposer d'abord la plaquette, face sensible vers les tubes, puis le cliché, en veillant à ne pas en intervertir les faces. Sur un calque bien réalisé, le dessin doit être exécuté de telle sorte que l'encre soit en contact avec la couche sensible. De même, s'il s'agit d'un tirage sur film, il est souhaitable de s'arranger pour que l'émulsion du film soit en contact avec la couche sensible. L'explication de ces recommandations a été fournie sous une forme différente à la *figure 8*.

Après avoir fermé le châssis, mettre les tubes sous tension pendant le temps qui aura été déterminé par des essais préalables. Il faut en moyenne exposer deux fois plus longtemps à travers un calque qu'à travers un film. Avec le châssis que nous avons décrit et les résines courantes, le temps d'exposition à travers un film est d'environ 3 minutes.

1-5. Développement de la plaquette exposée.

La plaquette insolée sera posée sur le fond d'une cuvette, face sensible vers le haut. On l'arrosera de révélateur en bon état de conservation, ce qui doit faire apparaître l'image colo-

rée des pistes à graver. Seules certaines résines supportent le frottement d'un coton pour accélérer le développement, mais nous déconseillons cette pratique en raison des risques de rayures qu'elle fait courir à la couche.

Une fois le développement achevé (normalement au bout du temps indiqué par le fabricant des produits), sortir la plaquette du bain avec des pinces et la rincer à grande eau. Si les opérations se sont déroulées correctement, les zones devant rester cuivrées doivent être entièrement colorées, et les zones devant être attaquées doivent briller d'un éclat métallique. Il est très recommandé d'effectuer un second séchage au sèche-cheveux avant de passer à la gravure chimique, ce qui permet, de plus, de réaliser d'éventuelles corrections au moyen d'un vernis à l'alcool coloré et d'une aiguille emmanchée.

1-6. L'attaque chimique.

A défaut d'une machine à agitation qui est capable de graver un circuit en environ 5 minutes, une attaque à la cuvette suffit amplement, et prend de 15 minutes à 2 heures, selon l'état d'usure du perchlorure et sa concentration d'origine. La procédure est la suivante :

- Remplir à moitié la cuvette de perchlorure de fer en bon état.
- Poser la plaquette sur la surface du liquide, face à graver vers le bas.
- Enfoncer la plaquette dans le bain au moyen d'une paire de pinces en plastique.
- Agiter la cuvette pendant quelques secondes.
- Sortir à plusieurs reprises la plaquette du bain, afin d'éviter la formation de bulles, et la replacer dans la même position.
- Au bout d'une minute, sortir la plaquette, la rincer, et observer si l'attaque se produit comme prévu. Sinon, il est encore temps de sécher la plaquette et d'y apporter des corrections.
- Replonger la plaquette dans le bain et surveiller toutes les 5 à 6 minutes l'état d'avancement de la gravure.
- Quand toutes les parties devant disparaître ont été dissoutes, rincer abondamment la plaquette et la nettoyer au mo-

yen du mélange trichloréthylène/alcool à brûler. Le circuit est prêt à être percé et câblé.

NB. — Certaines résines constituant une couche de vernis soudable, il n'est pas toujours nécessaire de décaper la plaquette avant câblage.

Les opérations de gravure peuvent être accélérées en agitant fréquemment la cuvette, en amenant le bain à une température d'environ 50°, ou en arrosant constamment la surface à graver avec l'agent d'attaque. On notera que, si le perchlore de fer n'est pas vraiment dangereux (sauf en cas de projections dans les yeux) il possède un fort pouvoir colorant et peut causer des taches indélébiles sur les vêtements. On évitera également tout contact avec des objets métalliques (ne pas faire comme ce technicien qui avait utilisé un tube de cuivre pour faire circuler le perchlore !).

2. TIRAGE D'UN CONTRETYPE SUR FILM PHOTOGRAPHIQUE.

Les principaux cas nécessitant un contretype (c'est-à-dire une copie sur transparent) sont les suivants :

- tirage sur résine négative d'un dessin exécuté sur calque ;
- tirage sur résine positive du négatif d'un circuit imprimé type « anglais » ;
- nécessité de conserver plusieurs exemplaires d'un même document transparent ;
- tirage de plaques décoratives.

Les opérations se dérouleront en lumière inactinique, c'est-à-dire rouge pour le cas qui nous intéresse. La marche à suivre est la suivante :

- Découper une feuille de film « lith » (Gevalith, Kodalith, Ilfolith, etc.) à un format légèrement supérieur à celui de l'original, et la placer dans le châssis d'exposition, face sensible vers la source de lumière. La face sensible se reconnaît à sa couleur plus claire, son aspect mat, et le fait qu'elle se trouve à l'intérieur de la courbure du film. *Refermer soigneusement la boîte de film.*

- Poser l'original sur le film après avoir soigneusement déterminé son orientation : si la copie inversée que l'on se pro-

pose de tirer est destinée à servir directement de masque d'insolation de la résine, il faut retourner l'original face pour face par rapport à la position qu'il occuperait dans le châssis s'il servait directement à insoler la résine. De cette façon, le côté émulsion de la copie se trouvera bien en contact avec la couche de résine lors du tirage définitif. Il est nécessaire de réfléchir à ce problème dès l'exécution du dessin afin de se placer dans les meilleures conditions : si le dessin sur calque sert directement de masque, il faut dessiner les pistes vues depuis le côté composants de la plaquette, c'est-à-dire *par transparence*. Par contre, si c'est un contretypage qui doit servir de masque, on représentera les pistes telles qu'elles se présenteront sur la plaquette. Le travail sera alors assuré dans les meilleures conditions (encre sur émulsion puis émulsion sur résine).

- Abaisser la vitre de pressage en prenant garde de ne pas déplacer l'original, mais laisser le couvercle ouvert.

- Allumer pendant 10 à 30 secondes l'éclairage principal du laboratoire (lumière blanche) puis l'éteindre à nouveau.

- Sortir le film du châssis et le plonger dans le révélateur jusqu'à apparition d'une image comportant des noirs parfaitement opaques et des blancs absolument purs (mais pas encore transparents).

- Rincer le film, ou le passer dans un bain d'arrêt, puis le plonger dans un fixateur quelconque pendant un temps double de celui nécessaire aux parties blanches pour devenir transparentes.

- Laver alors abondamment le cliché à grande eau avant de le mettre à sécher.

3. TIRAGE D'UN CONTRETYPE SUR FILM « ORANGE ».

L'intérêt de cette méthode est d'être applicable en lumière blanche atténuée, donc sans chambre noire.

- Disposer film et original dans le châssis comme au 2, mais cette fois, rabattre le couvercle.

- Allumer les tubes actiniques pendant un temps qui aura été déterminé par un essai préalable.

- Sortir le film du châssis et le poser, face sensible vers le haut, sur une surface plane très lisse et exempte de toute

poussière abrasive (par exemple une plaque de verre ou de plexiglas). Verser un peu de révélateur spécial sur le film et frotter sa surface à l'aide d'un tampon de cellulose imbibé de révélateur jusqu'à ce que toutes les parties devant devenir blanches aient perdu leur résine. Passer alors sur toute la surface du cliché un tampon neuf imbibé de révélateur, puis laisser sécher sans aucun rinçage intermédiaire.

Des retouches peuvent être exécutées sur le film sec au moyen de gouache colorée en noir ou rouge-orangé (sans dilution).

4. TIRAGE D'UNE PLAQUE DECORATIVE (FACADE).

La procédure est identique à celle décrite au 3, à quelques différences près :

- Le masque d'exposition peut être un positif ou un négatif, exécuté sur calque, film photo ou film orange selon le résultat cherché (voir *figure 7*).

- Les retouches s'effectuent au moyen d'une encre à dessiner de couleur identique à celle de la résine ou encore à l'aide de symboles à transfert. La résine développée et séchée peut être enlevée au moyen du mélange trichlo/alcool déjà cité.

- Il est indispensable de pulvériser sur la plaque *parfaitement sèche* un vernis spécial livré par le fabricant des feuilles sous forme de bombes aérosol (attention ! vapeurs toxiques).

5. COPIE EXACTE D'UN DOCUMENT TRANSPARENT PAR INVERSION D'UN FILM PHOTO.

Pour obtenir une copie présentant les mêmes valeurs lumineuses que l'original, deux solutions s'offrent à nous.

— passer par l'intermédiaire d'un négatif (inversion photographique) ;

— inverser chimiquement le film pour obtenir un positif.

La marche à suivre pour cette seconde méthode est la suivante :

- Commencer les opérations comme au § 2, mais *ne pas fixer le film*.

- Plonger le film dans un bain de blanchiment réalisé selon une des formules du § 2-5-3 (chapitre 2) jusqu'à disparition complète des noirs de l'image. Rincer soigneusement.

- Allumer alors la lumière blanche du laboratoire, éclairer largement la face sensible du film ainsi que son dos, puis reprendre le traitement indiqué au § 2, depuis le révélateur jusqu'à la fin.

NB. — Le succès de cette méthode exige que le premier développement soit poussé à fond, jusqu'à la limite du début de noircissement des parties blanches.

6. COPIE SUR FILM AUTOPOSITIF D'UN DOCUMENT OPAQUE.

Ce procédé est le seul qui permette, sans chambre noire ni équipement de prise de vue, d'effectuer sur transparent une copie exacte d'un document opaque. Il évite de décalquer à l'encre un modèle de circuit imprimé figurant dans une revue ou un livre. Il fait appel à un film spécial fabriqué par Agfa-Gevaert, appelé Copyline A1p, et à un révélateur de la même marque, le G8p. La marche à suivre est la suivante (voir § 1-1-5-B, chapitre 1).

- Disposer *sous* le document à reproduire une feuille de papier noir.

- En lumière du jour atténuée, découper une feuille de film A1p du format voulu, et la poser sur l'original (imprimé noir sur blanc) émulsion en contact avec la feuille.

- Presser le tout au moyen d'une épaisse plaque de verre.

- Eclairer uniformément ce montage, à travers la vitre, au moyen d'une ampoule de 100 à 500 W, pendant un temps qui aura été déterminé expérimentalement (plusieurs minutes).

- Développer le film dans une cuvette remplie de révélateur G8p, constitué de deux solutions mélangées au moment de l'emploi, et réalisées chacune par dissolution d'une poudre dans de l'eau.

- Effectuer ensuite comme de coutume rinçage, fixage, lavage et séchage.

Le document obtenu peut servir directement à insoler une résine positive, ou à tirer un négatif sur film orange (cf. § 3) destiné à insoler une résine négative.

Ce procédé permet donc, sans disposer d'aucun équipement photographique particulier de tirer sans aucune intervention graphique des circuits imprimés exactement conformes aux modèles publiés dans les revues spécialisées, ce qui représente un atout important pour la réussite du montage.

Dernière minute : procédé SENO Phototransfer.

De nouveaux films autositifs similaires au Copyline Autoreversal A1p sont maintenant disponibles en France. Il s'agit d'un procédé allemand portant le nom de SENO Phototransfer. Le mode d'emploi est exactement identique. Le fabricant préconise les conditions de traitement suivantes : exposition à un mètre d'une ampoule Nitraphot de 250 W sans réflecteur (durée 6 minutes) et développement en cuvette de 2 minutes.

Les références sont les suivantes :

- feuille format A4 (21 × 29,7) réf. 2009 ;
- révélateur/(fixateur (dose pour 1 litre) réf. 2010 B.

L'avantage majeur de ce produit est que, malgré un prix plus élevé, les feuilles sont vendues à *l'unité* et non en boîtes de 50.

Fournisseur (rubrique spéciale en fin d'ouvrage) :

DAP Import, 10, rue des Filles-du-Calvaire, 75003 Paris. Tél. : (1) 271.37.48.

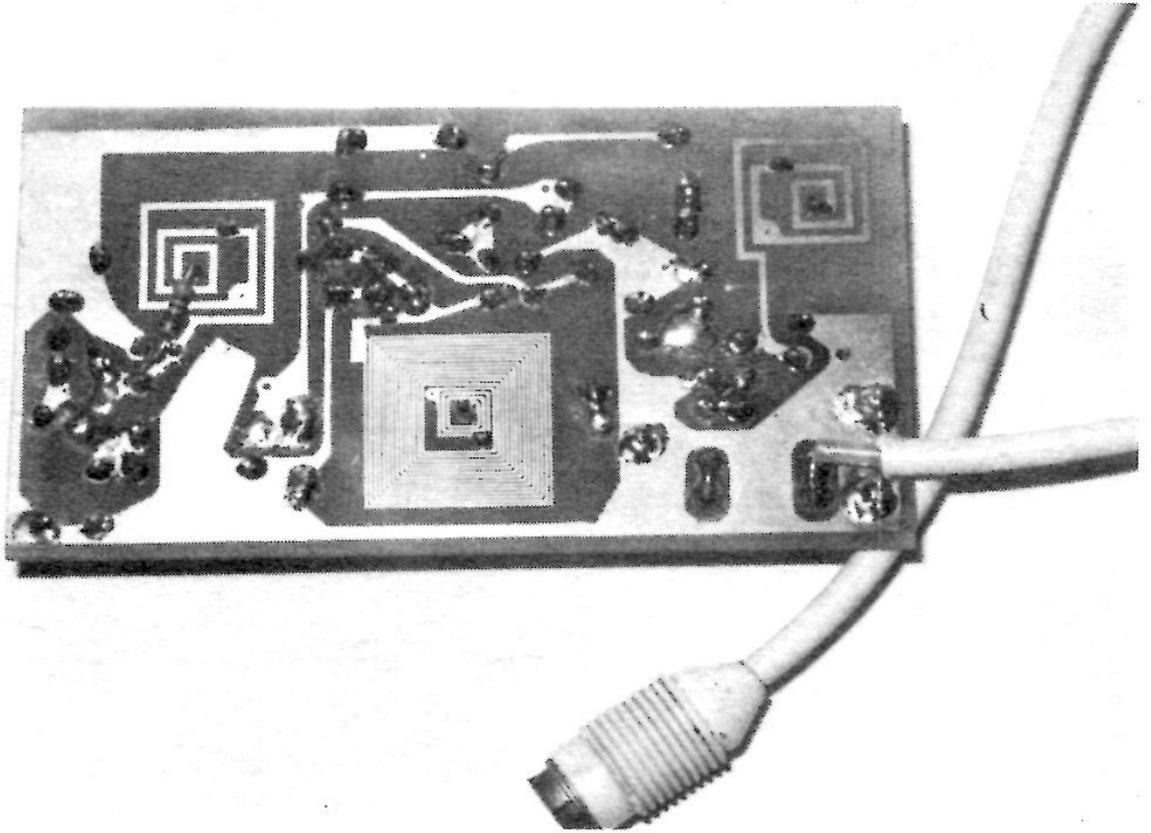
7. REPRODUCTION AVEC CHANGEMENT D'ECHELLE.

Toutes les techniques qui ont été exposées jusqu'à présent sont dites « par contact » et conservent donc rigoureusement les dimensions du document d'origine. Toutefois, dans de nombreux cas, un changement d'échelle s'avère indispensable, ce qui implique l'utilisation d'équipements optiques (appareil photo, agrandisseur) et de films ne pouvant être traités qu'en chambre noire.

Certains modèles de circuits imprimés de grande taille ne peuvent être publiés dans les revues (et surtout dans les livres) qu'à l'échelle 1/2, voire 1/4. Il faut, dans ce cas opérer un *agrandissement* de l'original.

D'autre part, certains motifs de grande finesse ne peuvent être dessinés avec précision qu'à une échelle supérieure à 1.

Le masque d'exposition définitif ne pourra être qu'un film constituant le résultat d'une *réduction* photographique. Nous pensons, notamment, à la technique des bobinages imprimés, dont nous allons donner le principe ci-après.



Exemple de circuit utilisant la technique des bobinages imprimés.

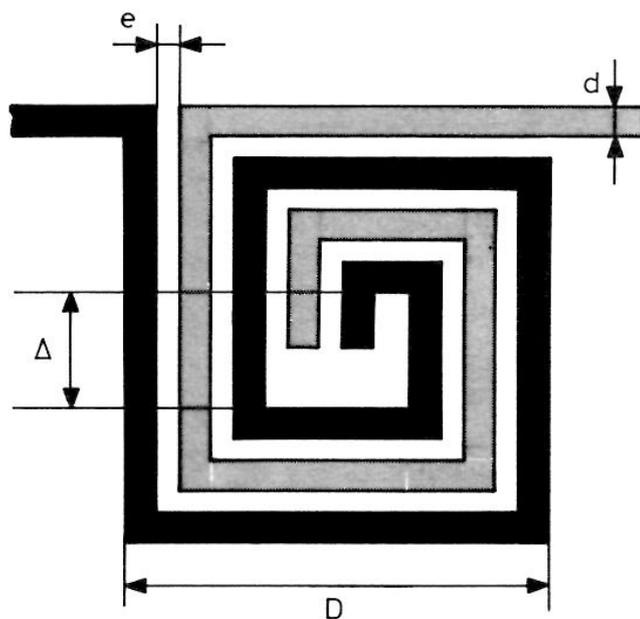


Fig. 18

7-1. Réalisation de bobinages HF imprimés.

Comme son nom l'indique, un bobinage est généralement constitué de plusieurs spires de fil conducteur, enroulées sur un mandrin isolant. Dans le domaine des bobinages haute fréquence, qui comportent assez peu de spires, il a été imaginé de graver sur une carte de circuit imprimé une spirale conductrice prétendant remplacer le bobinage traditionnel. Des essais poussés ont prouvé que cette technique était parfaite-

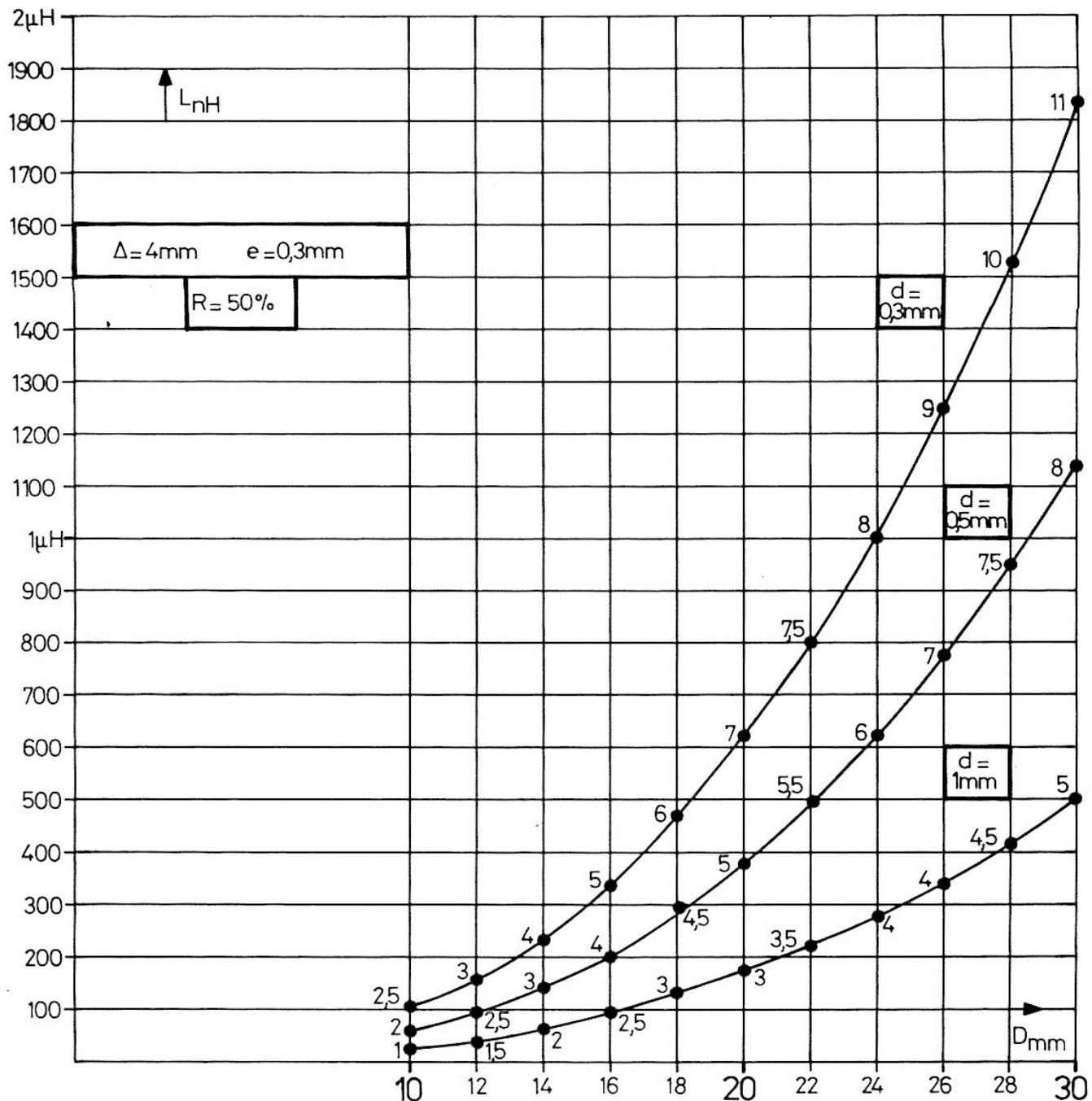


Fig. 19

ment valable pour des fréquences d'utilisation s'étendant approximativement de 10 à 200 MHz. La *figure 18* représente un transformateur constitué de deux enroulements interpénétrés, de forme carré, et indique les notations adoptées pour leurs diverses dimensions. La *figure 19* donne, pour plusieurs valeurs de ces paramètres géométriques, le coefficient de self-induction correspondant pour chacun des deux bobinages. La *figure 20* permet de déterminer ce même coefficient (inductance) pour une bobine unique remplaçant les deux pré-

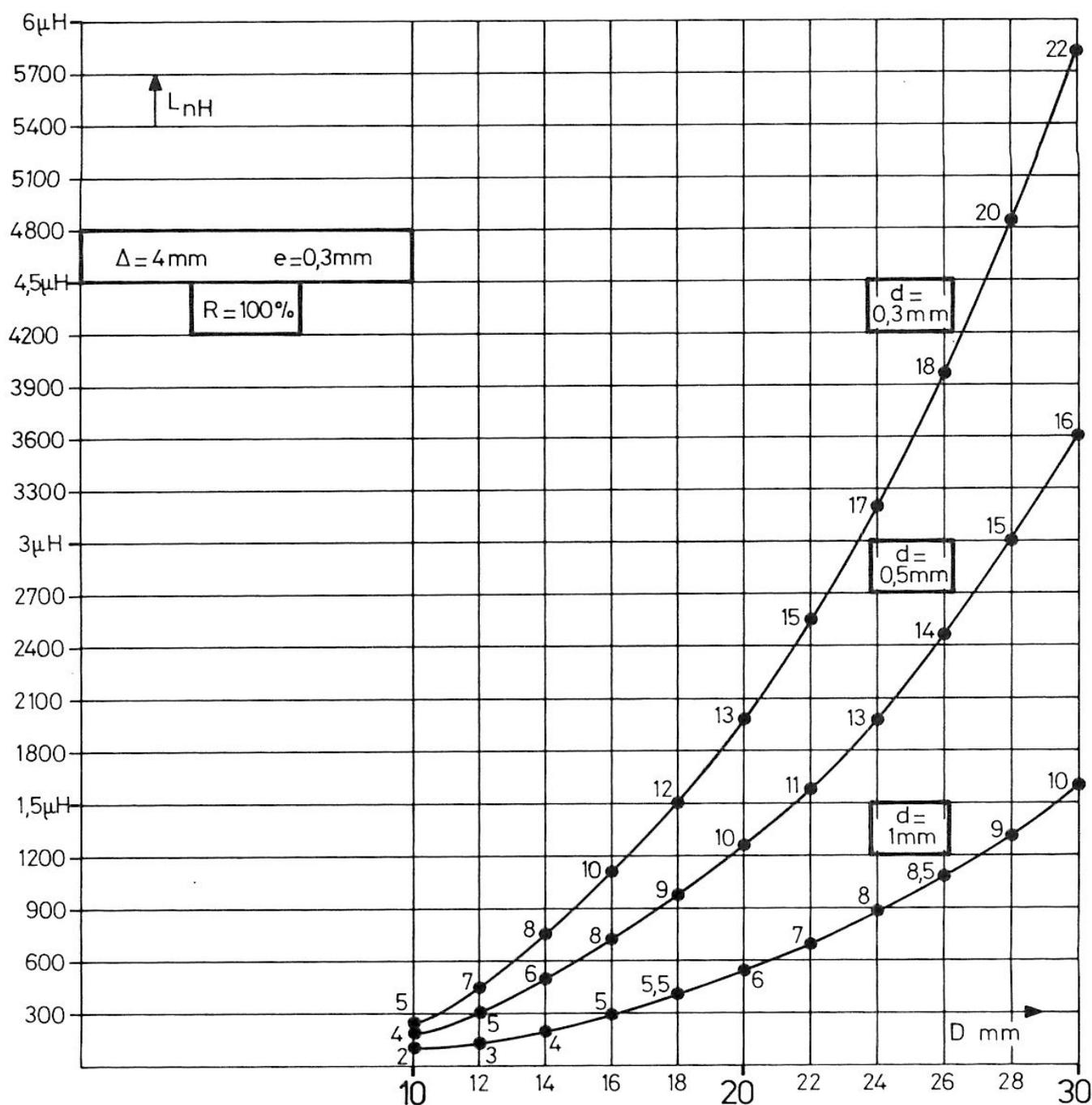


Fig. 20

cédentes, et comportant donc deux fois plus de spires. La *figure 21* montre l'influence de Δ , côté du vide central, sur l'inductance résultante, ce qui peut être utile pour réaliser des selfs de faible valeur.

Les essais que nous avons entrepris sur l'utilisation de ces selfs en HF et VHF, qui ont été présentés dans la revue « Radio Plans » se sont révélés très encourageants, et devraient inciter de nombreux amateurs à se lancer dans cette voie. Les

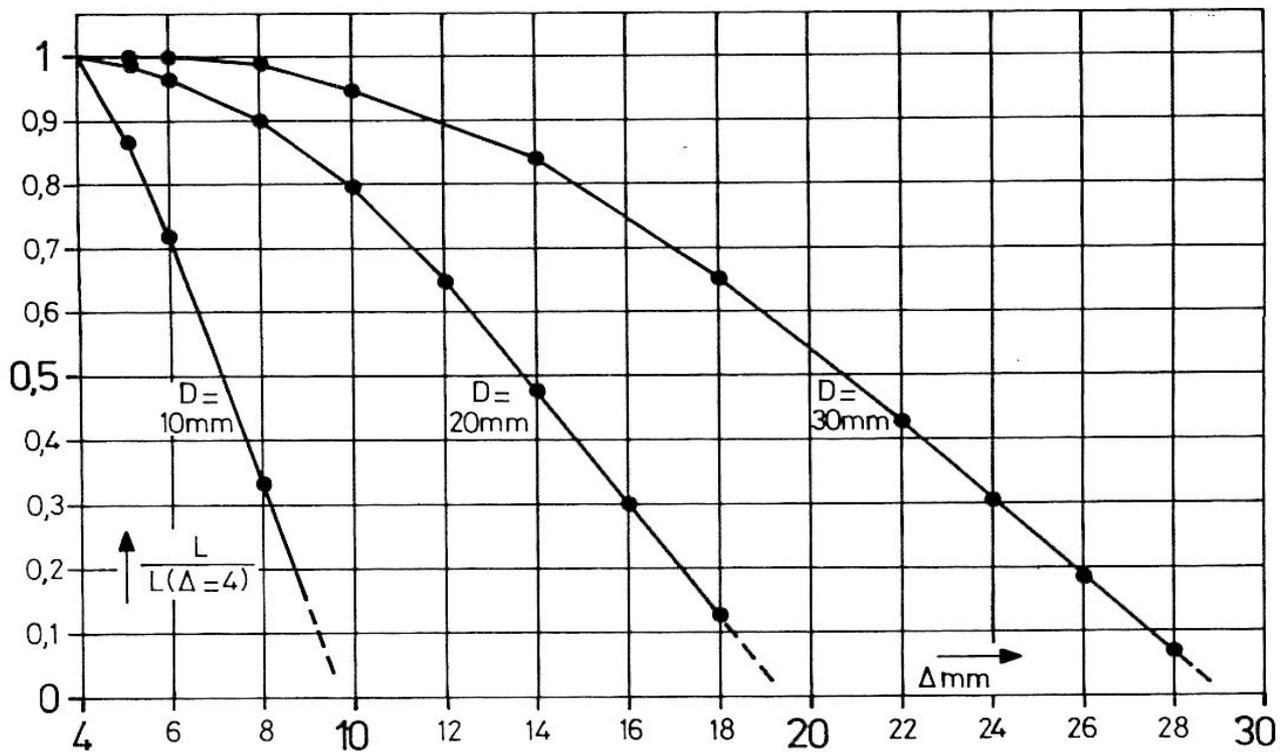


Fig. 21

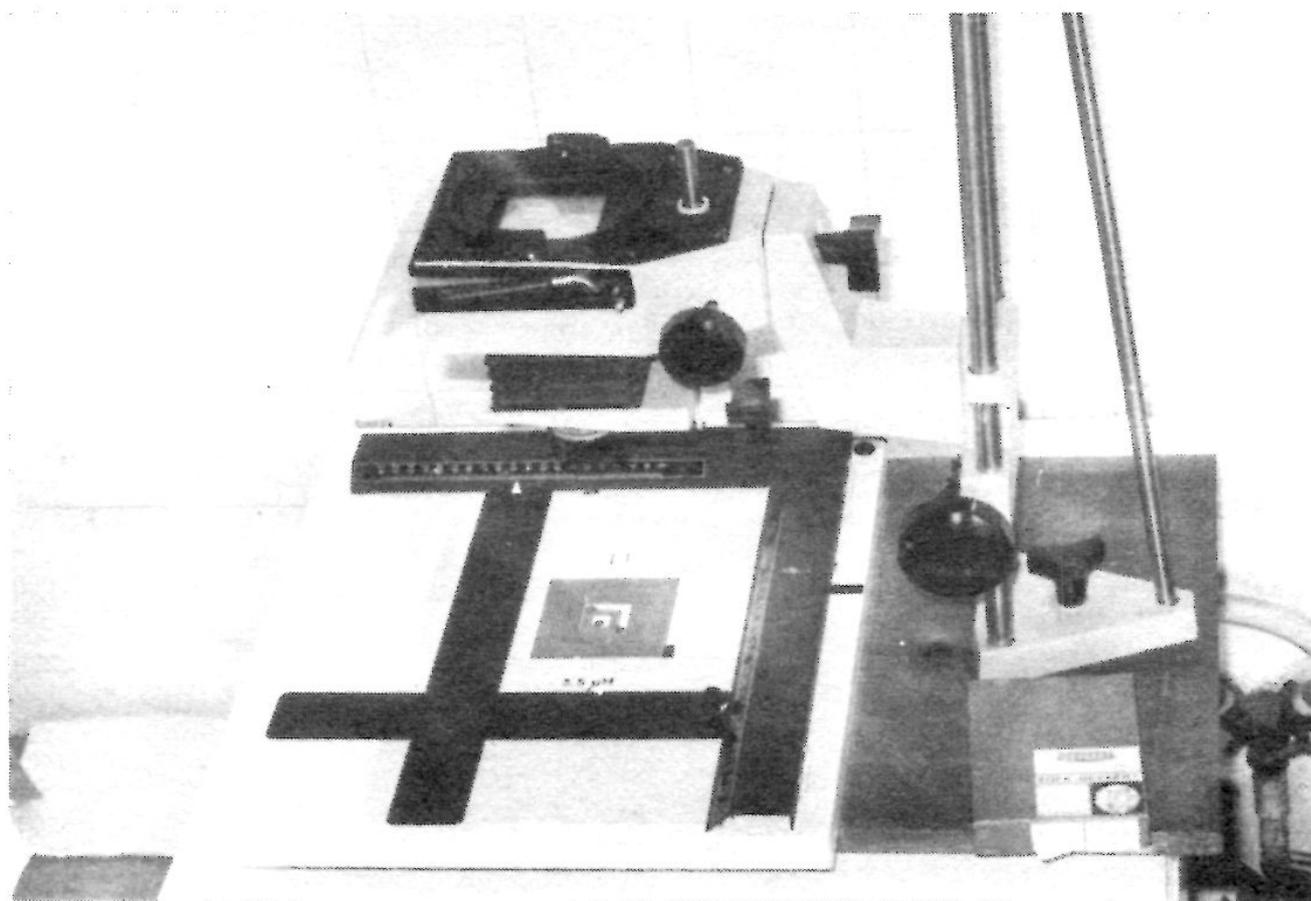
principaux avantages de cette méthode de réalisation des bobinages sont :

- absence de recours à des composants mécaniques spéciaux ;
- reproductibilité totale des montages ;

D'un point de vue pratique, l'étude du dessin à graver se fait sur calque, à l'échelle 4, ce qui permet, par réduction photographique, d'obtenir un masque irréprochable pouvant être associé par collage à d'autres parties de circuit dessinées à l'échelle 1.

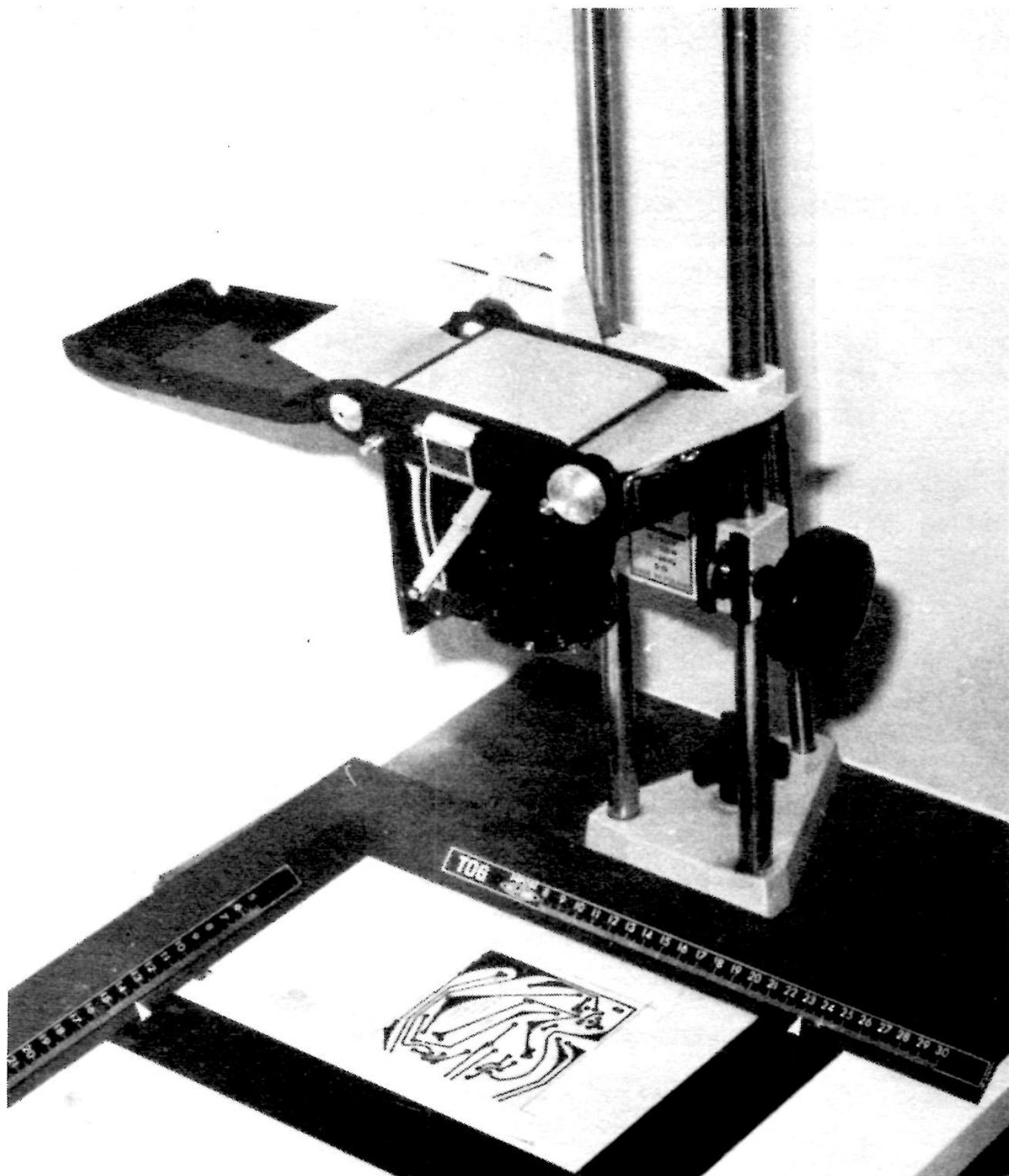
7-2. La pratique du changement d'échelle.

Le principe de la méthode est le suivant : à l'aide d'un appareil photo ou d'un agrandisseur chargé au moyen d'un morceau de film « lith », on effectue une prise de vue du document dont l'échelle doit être modifiée. Une fois développé, ce négatif est replacé dans l'agrandisseur et sert à projeter sur un morceau de film de dimensions appropriées une image qui peut être plus petite ou plus grande que l'original, selon le réglage. Lors de la mise au point le diaphragme de l'objectif sera ouvert à fond, de manière à opérer sur une image plus lumineuse. Pour l'exposition, il sera fermé à 8 ou 11, ceci garantissant une netteté optimale du cliché. Le document original sera fixé sur le plateau de l'agrandisseur. S'il s'agit d'un calque, il sera doublé d'une feuille blanche apportant le contraste nécessaire. On démontera la boîte à lumière et le condenseur de l'agrandisseur, et on introduira un morceau de calque dans le passe-vue. A l'aide de la boîte à lumière (ou de tout autre am-



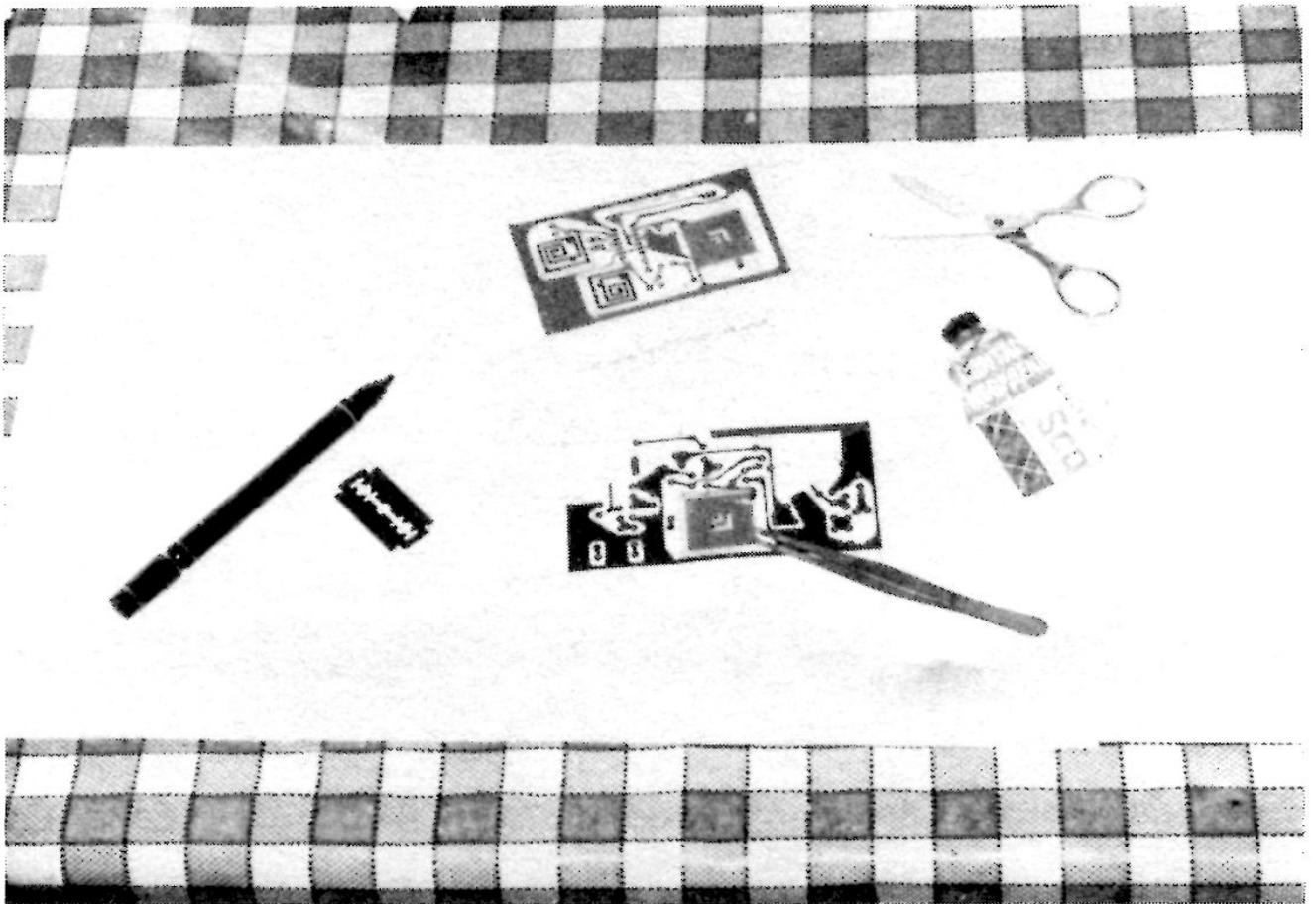
L'agrandisseur du laboratoire permet la prise de vues au moyen de plan-films « lith » en démontant boîte à lumière et condenseur.

poule) on éclairera fortement le sujet afin de régler la mise au point. Ceci fait, on repassera en éclairage inactinique et on remplacera le calque par le film disposé émulsion vers, le bas. On éclairera uniformément l'original pendant un temps suffi-

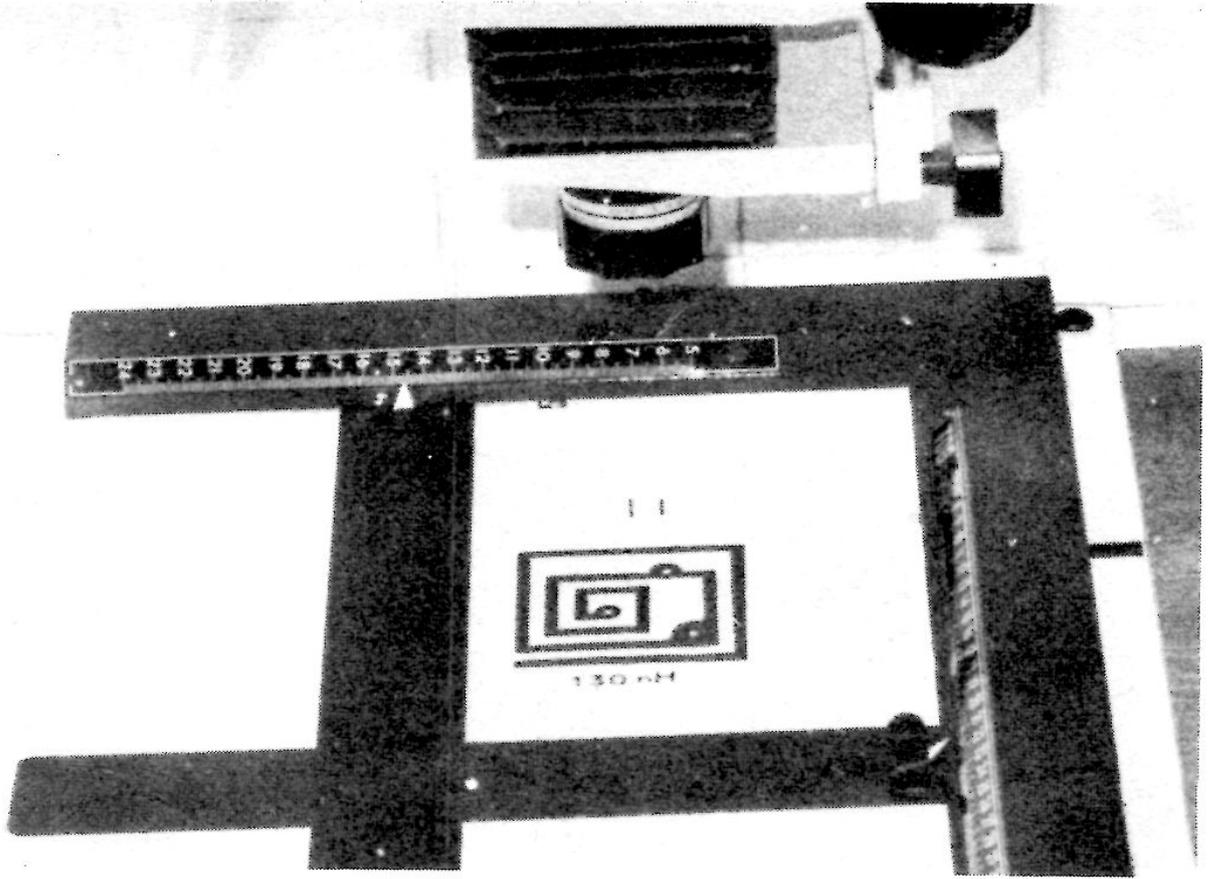


Un morceau de calque glissé dans le presse-film de l'appareil photo permet une mise au point précise. Le statif supportant ici l'appareil fait partie d'un agrandisseur.

sant pour exposer correctement le film qui sera alors traité comme à l'accoutumée. Une fois sec, il sera replacé dans le passe-vue de l'agrandisseur qui, entre temps aura été remonté. Si les réglages n'ont pas changé, l'image projetée doit conserver les dimensions de l'original. On mesurera la distance séparant deux points particuliers de l'original, et on multipliera le résultat par le rapport de changement d'échelle désiré. On pourra alors régler l'agrandisseur de façon à obtenir une image nette sur laquelle les deux points déjà cités seront séparés par une distance égale au résultat du calcul. Après réglage du diaphragme, on peut alors disposer une feuille de film sur le plateau, émulsion vers le haut, l'exposer et la traiter normalement, pour obtenir le cliché à l'échelle voulue. Pour toutes ces opérations, il est vivement conseillé d'équiper le plateau de l'agrandisseur d'un margeur réalisant un pressage efficace des documents et films qui y seront disposés.



Les clichés provenant d'une réduction photographique peuvent être assemblés par collage à d'autres éléments de dessin exécutés sur calque, à l'encre de chine.



Utilisation d'un agrandisseur comme appareil de prise de vue lors d'une réduction photographique.

8. LE PROBLEME DU DOUBLE FACE.

Même dans le domaine amateur, il peut s'avérer nécessaire de recourir à la technique double face. Il faut alors réaliser deux masques d'exposition en parfaite coïncidence mutuelle et éviter tout décalage même minime, entre les deux insulations. A défaut de châssis d'exposition à double rangée de tubes, on peut procéder comme suit : lors du tirage (ou du dessin) des deux masques d'exposition, prévoir une marge de 1 à 2 cm. Amener les deux clichés en parfaite coïncidence et les relier entre eux au niveau de deux marges opposées par des agrafes ou du ruban adhésif. Il ne reste plus qu'à introduire la plaquette cuivrée et sensibilisée sur ses deux côtés, en évitant tout mouvement de la carte dans le sachet lors du retournement. Il existe une méthode permettant de faciliter le dessin des circuits imprimés complexes en technique double face : sur le même calque, on dessine à l'échelle 2 en bleu les

pistes d'une face, en rouge celles de l'autre, et en noir celles qui sont communes aux deux faces. On applique ensuite la procédure de changement d'échelle décrite en 7-2, mais en coiffant l'objectif de l'agrandisseur d'un filtre Kodak Wratten n° 29 ou Agfa L 622 pour la première prise de vue et d'un Kodak Wratten n° 49 ou Agfa U 449 pour la seconde. Les négatifs obtenus permettent, par agrandissement, d'obtenir directement les deux masques d'exposition.

Comment se procurer les produits nécessaires

Certains produits courants (films, révélateurs) ainsi que la majorité du matériel photographique cité dans cet ouvrage se trouvent facilement chez les négociants photo-ciné possédant un rayon « laboratoire ». Par contre, les produits entrant spécialement dans le domaine de la photogravure sont plus délicats à se procurer, faisant partie du domaine professionnel. Quelques revendeurs en composants électroniques vendent une partie de ces produits (bombes de résine positive notamment) mais pour le reste, il est généralement nécessaire de contacter le fabricant qui fournit sur demande une liste des distributeurs de sa marque, lesquels acceptent souvent de vendre aux particuliers, avec, parfois, application d'un minimum de facturation de 50 ou 100 F. Certains produits fabriqués par des marques connues de produits photographiques peuvent être obtenus sur commande spéciale auprès d'un négociant photo complaisant.

Signalons également la possibilité qui existe parfois de se procurer des produits intéressants (films, résines) auprès de certains imprimeurs qui font appel à des techniques voisines de celles exposées ici.

Nous allons à présent passer en revue quelques marques proposant des produits que nous avons eu l'occasion d'essayer, et nous feront part de nos observations. Les coordonnées des fabricants pourront permettre l'obtention de renseignements complémentaires, notamment sur le plan commercial.

1. Agfa Gevaert : 13, bd Henri-Sellier, 92150 Suresnes. Tél. : (1) 772.10.18.

En Belgique : Agfa Gevaert NV B-2510 Mortsel.

- *Résine négative RN 20-14 et révélateur RN 20-R.*

Excellente résine, permettant les travaux les plus fins, mais conditionnement un peu important pour l'amateur. Se méfier du révélateur qui occasionne facilement des taches indélébiles. Produit tout indiqué pour les applications semi-professionnelles.

- *Film lith 081p, film autopositif A1p. révélateur G8p.*

Films de très bonne qualité qui, associés à ce révélateur, permettent de mettre en œuvre toutes les techniques décrites dans cet ouvrage. Le conditionnement par 50 feuilles et 10 litres n'est pas un inconvénient majeur en raison du prix abordable des produits.

2. 3M France : Bd de l'Oise, 95000 Cergy. Tél. : (1) 031.61.61.

- *Scotchcal* : sous ce nom commercial sont regroupés les types les plus divers de feuilles décoratives métal et plastique de toutes couleurs. Excellents résultats pour un prix extrêmement compétitif. De plus, tous les types de feuilles possèdent une couche auto adhésive.

- *Films Color Key* : Dans cette famille de films colorés, seul le film orange convient aux applications décrite ici.

Très bonne finesse de reproduction, chambre noire et laboratoire superflus, mais prix relativement élevé.

- *Procédé image Transfert.*

3. Rhône Poulenc graphic quadrimental : 63, rue de la Haie-Coq, 93300 Aubervilliers. Tél : (1) 834.91.27.

- *Plaques présensibilisées pour circuits imprimés « Superlectra ».*

Plaques de qualité supérieure, couche de résine positive sans défauts permettant des travaux très fins. Conditionnements accessibles à l'amateur, prix relativement accessibles. Révélateur à peu près inoffensif.

- *Perchlorure de fer concentré.*

« Cubitainers » de 10 litres pour un prix sans concurrence en comparaison avec le commerce de détail. Attention toutefois aux frais de transport (poids 15 kg) qui doublent presque la facture.

- *Plaques décor « Supercolor ».*

Plaques assez épaisses en aluminium. Procédé avec gravure assez coûteux.

4. Kontakt Chemie (SLORA): BP 91, 57602 Forbach, (87) 85.00.66 et 85.00.68.

- *Bombes de résine positive « Positiv 20 ».*

Produit disponible chez la plupart des revendeurs en composants électroniques, à un prix avantageux. Résultats assez moyens. Nécessité de se procurer de la soude caustique pour préparer soi-même le révélateur qui n'est pas fourni.

- *Gamme complète de produits en bombes.*

Notamment des vernis de protection pour circuits imprimés terminés.

5. KF : 304, bd Ch.-de-Gaulle, 92390 Villeneuve-la-Garenne. Tél. : (1) 793.28.15.

- *Bombes de résine positive : « RPS ».*

Mêmes remarques que pour le produit précédent, à ceci près que la potasse caustique nécessaire est fournie avec la bombe, ce qui peut éviter bien des recherches. Le fabricant peut fournir sur demande des formules de révélateurs plus élaborés.

- *Produits divers pour la photogravure.*

Cette maison commercialise différents produits utiles (verniss, perchlorure, etc.) qui peuvent être regroupées dans un nécessaire assez complet comportant un châssis d'insolation rudimentaire pouvant intéresser les lecteurs ne désirant pas se lancer dans la construction de cet équipement.

6. DAP Import : 10, rue des Filles-du-Calvaire, 75003 Paris. Tél : (1) 271.37.48.

- *Procédé SENO Transfer.*

Cet aperçu, nullement limitatif, de quelques fournisseurs susceptibles de livrer la plupart des produits nécessaires pour effectuer tous les travaux décrits dans les pages précédentes, regroupe des produits que nous avons eu l'occasion d'essayer dans toutes les conditions opératoires. Le lecteur qui les emploiera est assuré de parvenir à un résultat s'il se conforme à nos instructions et aux notices d'emploi accompagnant ces produits. Il est certain que d'autres marques peuvent offrir des services comparables. C'est en définitive les possibilités d'approvisionnement et les moyens financiers de chacun qui guideront le choix de tel ou tel fournisseur.

Achevé d'imprimer
sur les presses
de l'Imprimerie Marcel Bon
70 Vesoul
Dépôt légal : 2^e trimestre 1979
N° éditeur : 255 - N° imprimeur : 2346

RÉALISEZ VOS CIRCUITS IMPRIMÉS ET DÉCORS DE PANNEAUX

17

Collaborateur de nombreuses revues techniques, dans lesquelles les descriptions des montages réalisés par lui sont très appréciées, l'auteur est devenu un spécialiste de la fabrication « amateur » des circuits imprimés. Mais ces méthodes de tracé manuel sont fastidieuses pour les circuits relativement importants, et d'autre part l'amateur craint de se lancer dans les méthodes photographiques. Patrick GUEULLE les initie à celles-ci, pas à pas, en les démystifiant, et les met à la portée de tous.

En annexe, une liste d'adresses indique où se procurer les produits nécessaires.



Éditions
Techniques et
Scientifiques
Françaises