

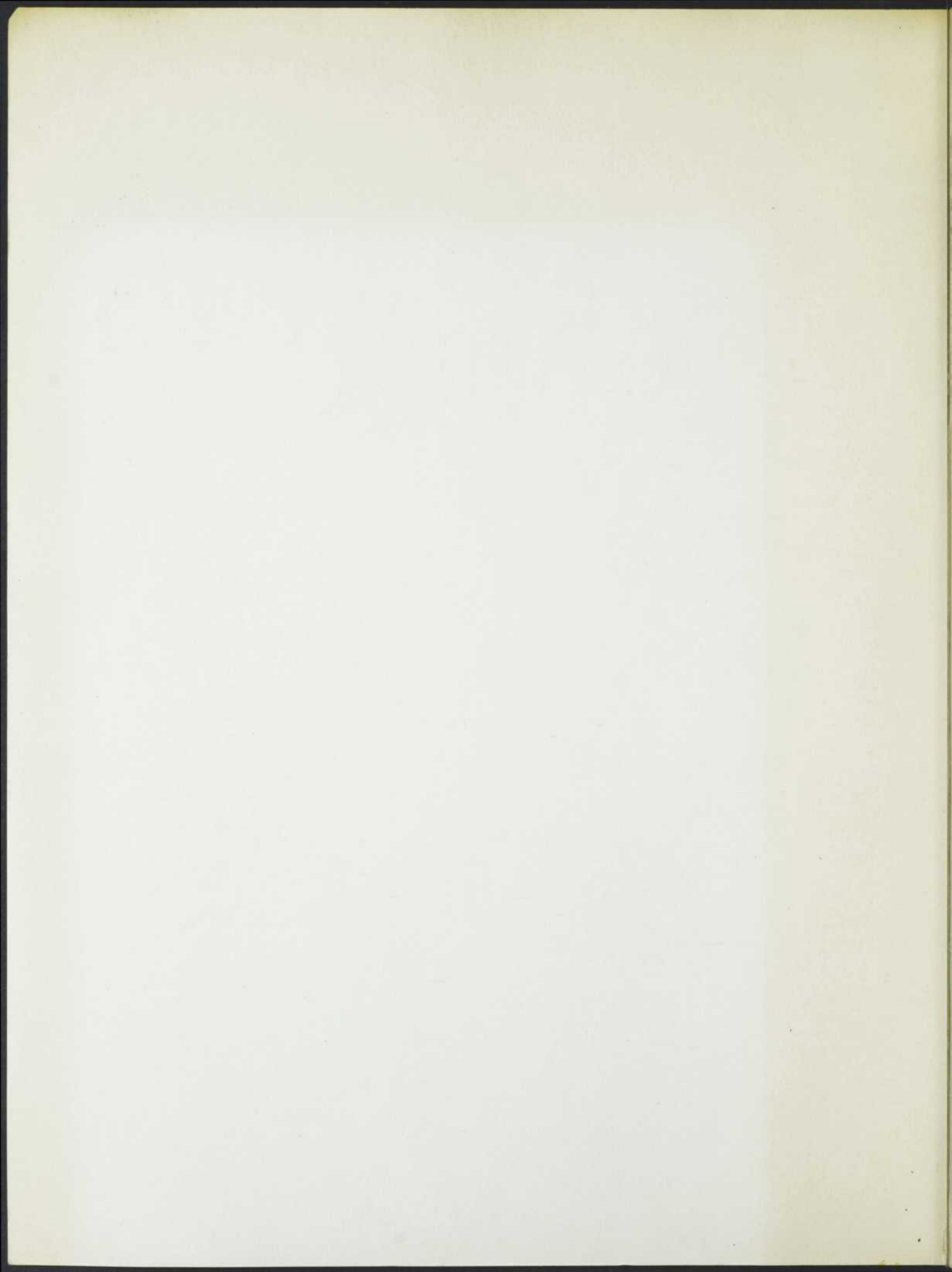
PER
A-320
00145 v04



CENTRE QUÉBÉCOIS DE LA COULEUR

RENCONTRE
DES ARTS ET DES SCIENCES
DE LA COULEUR

ACFAS



Annales de l'ACFAS, volume 45, numéro 4

Association canadienne-française pour l'Avancement des Sciences, C.P. 6060,

Montréal, Québec, H3C 3A7

RENCONTRE
DES ARTS ET DES SCIENCES
DE LA COULEUR

Tome II

Centre québécois de la Couleur

1978

Dépôt légal 4^{ème} trimestre 1978

Bibliothèque nationale du Québec

Bibliothèque nationale du Canada

Reproduction permise avec mention d'origine
ACFAS et Centre québécois de la Couleur Inc.

Table des matières du Tome II

Comité d'honneur; C.Q.C., Conseil et Exécutif		IV
Avertissement du Tome II		V
Liminaire....Peser les mots	LOUIS PORTUGAIS	VII
Physique.....Colorimétrie avec des lumières cohérentes (Esquisse d'une algèbre linéaire des couleurs)	PIERRE DEMERS	1
Les couleurs d'interférence	JEAN-PIERRE SAINT-DIZIER	23
Chimie.....La normalisation des couleurs	JEAN-BERTHOLD DUCHARME	32
Couleur et peintures	IVAN KIROUAC	34
Les teintures naturelles au Québec	PAULETTE-MARIE SAUVE	39
Physiologie..Usage du CHROMOMÈTRE pour le dépistage et l'identification des dyschromatopsies	PIERRE DEMERS et BEN V. GRAHAM	44
Psychologie..Une échelle spiralée pour les hauteurs musicales	PIERRE DEMERS	48
Commentaires sur: "Une échelle spiralée pour les hauteurs musicales"	LOUISE GARIEPY	53
Combien faut-il de primaires colorés? 2, 3, 4, 5, 6 ou davantage?	PIERRE DEMERS	54
Divers.....L'approche sensorielle dans l'enseignement des arts plastiques au niveau collégial	CLAUDE BLIN	84
Couleur et liberté d'expression	MICHELINE COUTURE-CALVE	91
L'emploi de la couleur dans la cartographie thématique: l'occupation des terres	PIERRE DANSEREAU	96
L'exposition "Un Musée québécois de la Couleur", considérations muséologiques	PIERRE DEMERS	97
Couleur et matériel didactique	LISE DUMAIS-BOUILLON	100
Une expérience d'éducation populaire: la Société d'Animation du Jardin et de l'Institut botaniques	MICHEL FAMELART et PIERRE BOURQUE	102
Polarisation de la lumière, moyen d'action	MAURICE-G.-V. MACOT	111
Didactique et couleur	CLAUDE ROBILLARD	118
Table des auteurs du Tome I et du Tome II		123

Comité d'honneur

Pierre Dansereau

Alfred Pellan

Fernand Seguin

Centre québécois de la Couleur Inc., 1200 Latour, Saint-Laurent,
Québec, H4L 4S4, Conseil

Président	Pierre Demers	Vice-président	Jean-Pierre Saint-Dizier
Secrétaire	Hélène Boileau	Trésorier	Charles-E. Sénécal
Directeurs	Camille Brouillet	Maurice Day	Pierre Garneau
	Ivan Kirouac	Louis Portugais	Maurice Raymond

Mention d'origine

QU'EST-CE QUE LE CENTRE FRANCAIS DE LA COULEUR? François Parra, Tome I, 251-6
Cet article a été extrait, avec autorisation, de Information Couleur, Bulletin
du Centre français de la Couleur, No 1, avril 1978, pp. 5-7

AVERTISSEMENT DU TOME II

Ce Tome II complète le Volume formant les Comptes-rendus du Symposium-Rencontre des Arts et des Sciences de la Couleur, organisé par le Centre québécois de la Couleur, qui s'est tenu à l'Université de Montréal, les 16, 17 et 18 mars 1978, accompagné d'une exposition intitulée "Un Musée québécois de la Couleur", qui est restée ouverte jusqu'au 21 mars 1978. Près de 200 participants se sont inscrits, venus de toutes les régions du Québec et même de la France: M. François Parra, Président du Centre français de la Couleur, qui est venu tout exprès, sur notre invitation. Nous le remercions tout particulièrement.

Il y eut 2 séances d'ateliers thématiques, les textes qui s'y rapportent se trouvent principalement dans le Tome II.

"Un Musée québécois de la Couleur"; de Koninck I, Demers, Famelart et Bourque, Raymond I.

"L'enseignement de la couleur au Québec"; Blin, Calvé, Macot, Robillard, les textes d'Andrée Beaulieu-Greene et de Réal Prévost ne nous sont pas parvenus à temps pour cette publication.

Plusieurs personnes, physiques et morales, ont contribué au succès de l'entreprise, qu'elles trouvent ici l'expression de notre reconnaissance. En voici quelques unes. Tout d'abord MM. Pierre Dansereau, Alfred Pellan et Fernand Seguin, qui ont bien voulu nous appuyer de leur personnalité, en faisant partie de notre Comité d'honneur. M. Pierre Dansereau a en outre bien voulu présider une séance et présenter une communication, dont le résumé apparaît au Tome II; le Recteur de l'Université de Montréal, M. Paul Lacoste, qui nous a encouragés, et qui s'est fait représenter, à l'ouverture du Symposium et de l'Exposition, par M. René-J.-A. Lévesque, Doyen de la Faculté des Arts et des Sciences; M. Clément Paré, Directeur général de l'Enseignement des Arts au Collégial (Ministère de l'Éducation), qui a bien voulu présider une séance; le Directeur du Département d'Anthropologie M. Paul Tolstoy, qui nous a permis l'usage de son Laboratoire, où s'est déployée l'Exposition; M. Jacques La Palme, Directeur du Bureau des Normes (Ministère de l'Industrie et du Commerce), pour son appui; la Coordinatrice des Congrès Mme Lucile Malo, le Centre Audio-visuel, le Service de la Bâtisse et celui de la Sécurité, qui ont contribué efficacement à la réalisation matérielle, la Direction des Communications et la revue FORUM.

Il faut mentionner les Media, en particulier, à notre connaissance, Le Devoir, CBF radio et télévision, M. Laurent Lamy, le photographe Paul Décarie, et diverses sociétés: Association des Maîtres-Imprimeurs de Montréal, Association des Photographes professionnels du Québec, Société des Graphistes du Québec, Association des Professeurs de Sciences du Québec, et surtout l'Association des Professeurs d'Arts plastiques du Québec, dont le rôle a été considérable; enfin l'ACFAS, pour une subvention et pour la publication du Volume; aussi la Bibliothèque nationale du Québec et la Coordinatrice des Manifestations culturelles Mme Colette Fortier; la Cinémathèque québécoise et son Directeur de la Programmation, M. Pierre Véronneau.

LANCEMENT DU TOME II

Bibliothèque nationale du Québec, jeudi 12 octobre 1978, 17h, 1700 Saint-Denis, Montréal.

Même adresse, 19h30, la Cinémathèque québécoise présente une Rétrospective du cinéma en couleur.

PESER LES MOTS

Louis Portugais

La noble idée de faire se rencontrer l'art et la science sur le terrain de la couleur peut en surprendre plusieurs. Quelqu'un me souffle à l'oreille: est-ce souhaitable? Un autre: si oui, est-ce possible?

Un certain Léonard de Vinci, s'il était parmi nous aujourd'hui, serait estomaqué d'entendre poser pareilles questions. Nous aurions alors à lui expliquer, non sans quelques ménagements, qu'aux époques de société où les rapports possédants-possédés étaient moins évidents, il était encore possible de retrouver ces deux termes au sein d'une même démarche, d'une semblable volonté créatrice. Le pauvre homme pourrait-il alors concevoir que la suite de l'Histoire ferait se préciser le clivage entre ces termes-notions, se distendre les points pourtant communs, en son temps, d'un même cercle?

Laissant Léonard à sa gloire, je vous prends à témoins que plus ça va, plus on dirait que deviennent suspects les esprits qui cherchent un tant soit peu à réconcilier, après les avoir pesés, des termes que divers types d'appropriation du profit ont justement comme intérêt ultime d'écarteler. On ne cultive plus les connaissances comme à l'époque de l'honnête homme: on trouve plus facile d'en piétiner le jardin. Et les restes seront versés dans autant de tiroirs numérotés qu'il y a besoins d'appropriation à satisfaire, et ce au rythme prévu par les apprentis-sorciers de ce système. Devant les arts et les sciences, l'idéologie dominante aseptise ses compte-gouttes au point où le simple et légitime désir de création s'en trouve condamné d'avance. Il est vrai que la tristesse et la panique cèdent parfois la place au cri et à la révolte, mais qu'importe: la société permissive parce que libérale, faisant flèche de tout bois, récupère tout cela assez vite merci. Ce qui fait le plus de peine à voir dans cette antinomie, désolante pour certains et cultivée par d'autres, c'est bien cette façon de perpétuer l'être tronqué au nom d'une sectaire intelligence. Quoique nous fassions pour corseter les concepts ou éroder les mots qui les traduisent, nous sommes par ailleurs conviés à un accueil qui est signe d'entre-prises.

Le jeu du dictionnaire montre à quel point *art* et *science* sont pareils: par le rêve, l'intuition, l'utopie, la préhension de la mort. Par la barbe et la barbiche, Anatole France écrit: "L'art n'a pas la vérité pour objet. Il faut demander la vérité aux sciences, parce qu'elle est leur objet". Jean Cocteau semble renchérir: "L'art existe à la minute où l'artiste s'écarte de la nature". J'en vois plusieurs bondir, surtout les académistes. Mais notre propos est ailleurs: voici deux auteurs estimables qui semblent consacrer le dualisme que je veux dénoncer. Je n'y vois pour ma part que le simple reflet de cette manie des "grilles sémantiques" qui par souci de précision du langage ne fait souvent qu'entretenir la confusion des genres. Appartenant à l'école du *positivisme logique*, qui veut former un discours cohérent au moyen d'un langage rigoureux, Bertrand Russell écrit: "Tout ce qui peut être connu peut l'être par la science, mais les choses qui sont légitimement affaires de sentiments sont en dehors de son domaine". J'en vois d'autres bondir et je prie que l'on me pardonne d'ajouter un autre étage à la tour de Babel des idées reçues! Revenons donc au dictionnaire.

Ainsi: "*les lettres et les sciences*", expression qui consacre une fois de plus l'ambiguïté, comme en témoigne Paul Robert. La psychologie, la phonétique, par exemple, appartiennent aux "lettres", bien qu'elles soient des sciences. Cet emploi, antérieur à la généralisation des méthodes scientifiques, crée un flottement dans l'usage universitaire".

Ce flottement dont parle Robert est sans doute le résultat des diverses mises en perspective pratiquées par chacun. Autrement dit, une question de point de vue. Il existe un art de la guerre comme une science de la guerre: le terme que vous retiendrez la fera tantôt belle et légitime, tantôt cruelle et haïssable. Il y a telles choses que l'art des mots et la science des mots, l'art ou la science culinaire, l'art ou la science du feu. D'autres exemples ne feraient pas autrement que de montrer que la fragilité même des mots n'empêche en aucune manière la *rencontre* de toutes les espèces de créateurs. Le parallélisme des expressions suivantes en témoigne: "science pure", "art pur" et "science expérimentale", "art expérimental". Ironie peut-être, mais dans chaque cas il y a des laissés pour compte: le "martyre de la science" n'a-t-il pas comme proche cousin "l'artiste maudit"? On donne de "science-fiction" la définition suivante: "Américanisme par lequel on désigne les oeuvres

vres d'imagination scientifique qui décrivent un état futur du monde". La science serait-elle donc poésie?

Dans cette insurrection, trop souvent appréhendée, qui veut mettre en contradiction *art* et *science*, on trouvera facilement des myopes dans les deux camps. Poli, Merleau-Ponty appelle ça *le malentendu du scientifique et de l'artiste*. Pour certains, ce malentendu fond comme glace au soleil: artiste et scientifique sont souvent décrits au cours de l'histoire, à tort ou à raison, comme des contempteurs de la morale. Ils ont alors en commun le profond désir d'une liberté qui s'accommoderait mal d'un tel carcan. De même manière, évoquer toute notion d'éthique les ferait se retrouver au centre d'interrogations communes. A un autre niveau, l'obligation vitale de "s'exposer" est du même type pour l'un que pour l'autre: galerie et musée et le fameux "publish or perish" sont au diapason. Ce qui revient à dire que la survie ne tient souvent qu'aux mêmes fils.

*

Arts et sciences peuvent, ou non, se rencontrer sur un même terrain, surtout celui de la couleur. Tout dépendra du degré de curiosité, de lucidité et de générosité intellectuelle des acteurs mis en présence. En attendant, si le jeu du dictionnaire vous a mis sur la piste, j'en suis fort aise. A vous de jouer maintenant.



COLORIMETRIE AVEC DES LUMIERES COHERENTES
(ESQUISSE D'UNE ALGEBRE LINEAIRE DES COULEURS)

Pierre Demers

Lumières incohérentes et lumières cohérentes

La colorimétrie, tout aussi bien que la photométrie, se fait habituellement avec des lumières incohérentes mutuellement, de telle sorte que les intensités s'additionnent arithmétiquement. Cependant, on connaît les phénomènes d'interférence destructive (qui donnent lieu, avec la lumière blanche, à de beaux phénomènes colorés Saint-Dizier 1978), lorsqu'on dispose de faisceaux monochromatiques cohérents mutuellement, de phases différentes: ce sont alors les amplitudes qu'il faut additionner, à la manière de vecteurs dans le plan complexe, dans le cas général. Voici un exemple, où les phases sont 0° et 180° .

$$\begin{array}{l} \text{(Source) Vert} \rightarrow \left| \begin{array}{l} \rightarrow \text{Vert } 0^\circ \text{ (Faisceau)} \rightarrow \\ \rightarrow \text{Vert } 180^\circ \text{ (Faisceau)} \rightarrow \end{array} \right. \rightarrow \text{Interférence destructive (Ecran)} \end{array}$$

Nous savons d'ailleurs qu'en mélangeant vert et rouge, nous obtenons du jaune, d'après le jugement visuel. Dans l'exemple ci-dessus, ajoutons donc de la lumière rouge ordinaire à chacun des 2 faisceaux verts. Les 2 faisceaux mixtes paraissent également jaunes. Leur réunion donne du rouge.

$$\begin{array}{l} \text{Jaune (Vert } 0^\circ + \text{Rouge)} \rightarrow \\ \text{Jaune (Vert } 180^\circ + \text{Rouge)} \rightarrow \end{array} \left| \rightarrow \text{Rouge}$$

Voilà donc un cas intéressant pour la colorimétrie, puisque, contrairement aux usages admis, la réunion de 2 jaunes donne un rouge!

Nous pouvons créer 2 faisceaux mutuellement déphasés de rouge, et composer 4 sortes de faisceaux mixtes jaunes. Par la réunion de 2 de ces faisceaux mixtes convenablement choisis, nous pouvons obtenir, non seulement du rouge, mais encore du vert. Nous pouvons continuer: créons aussi 2 faisceaux bleus, et nous pouvons composer 8 sortes de faisceaux mixtes blancs neutres, dont la réunion par paires convenablement choisies permet d'obtenir 6 couleurs, comme il est discuté plus loin. Cela commence de ressembler aux couleurs de lames minces, obtenues par déphasages et interférences. Ici, nous nous bornons aux phases mutuelles 0° et 180° . Il faudrait encore examiner les autres valeurs des phases. Il faudrait aussi examiner les effets avec des lumières polarisées.

Schroedinger 1920 a montré que la colorimétrie ordinaire, celle que l'on fait avec des lumières ni mutuellement cohérentes ni polarisées, répond à un espace doué d'une métrique, et par suite d'une certaine algèbre linéaire. Bouma 1946 en a étudié les fondements axiomatiques. Cette algèbre, ou "algèbre de Bouma", est à 3 dimensions, et ses propriétés ressemblent, mais d'assez loin, à celles de l'espace ordinaire encore appelé géométrique, Euclidien ou public. Nous allons montrer que la colorimétrie avec des lumières cohérentes doit se faire dans un espace doué d'une métrique et d'une algèbre linéaire différentes. Cette "algèbre linéaire des couleurs", nécessaire pour décrire des exemples tels que les précédents, peut se faire à 3, à 6 dimensions, et même davantage. Comparée à l'algèbre de Bouma, l'algèbre nouvelle ressemble beaucoup plus à celle de l'espace ordinaire, et elle ressemble aussi à celle de la relativité restreinte.

Nous pourrions la présenter de manière déductive, comme une conséquence du modèle G3 Demers 1977, 1978, lequel contient les équations nécessaires. Mais nous la présenterons plutôt de manière inductive, en discutant d'abord des expériences de colorimétrie mettant en jeu les principes de la physique et de la physiologie, qui nous serviront pour écrire les équations ensuite proposées.

Expérience No 1 (physiologie)

Trois faisceaux, le triangle. Nous nous donnons 3 faisceaux monochromatiques, par exemple R700, V546,1, B435,8 $\mu\mu$, avec des luminances réglables r , v , b . Supposons que nous ayons réalisé, sur un écran triangulaire, le triangle de Maxwell, avec partout la luminance unité. Ce sont exclusivement des mélanges par pure synthèse additive, donnant une gamme de couleurs.

+++

(Il n'y a pas de désaturation). Nous installons ce triangle dans le trièdre des axes (fig.1), ainsi se trouve réalisée une surface isoluminance unité

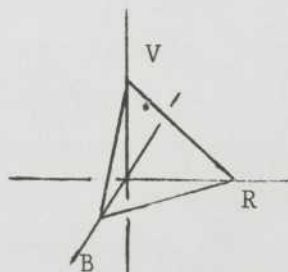
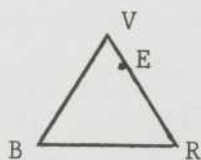


Fig. 1.
Triangle de Maxwell

où domine le bleu, car le blanc équilibré E se trouve au point r 0,17,

v 0,81, b 0,01. Mais regardons le triangle à travers un filtre jaune transmettant 18% à 700 $m\mu$, 81% à 546,1 $m\mu$, 1% à 435,8 $m\mu$, alors le blanc équilibré apparaîtra au centre de la figure (fig. 2). Toutefois, le triangle ne sera plus isoluminance: la partie verte est la plus claire, la partie bleue est la plus sombre. La surface est limitée au triangle, par hypothèse, et à l'octant principal du trièdre.

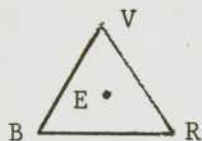


Fig. 2. Vue à travers le filtre jaune

Amplitudes. Au lieu d'utiliser les intensités, puissances ou luminances, nous avons bien le droit d'utiliser la racine carrée de la luminance, ce qui donne une amplitude chromatique, que nous allons appeler coordonnée.

$$x = \sqrt{r} \qquad y = \sqrt{v} \qquad z = \sqrt{b}$$

On remplace alors le triangle plan de tout à l'heure par un triangle trièdre sphérique, nous dirons que le triangle de Maxwell est devenu un triangle de Schroedinger. (Fig. 3). Nous appellerons ainsi ce triangle, qui est une por-

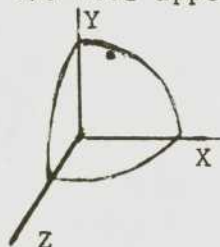


Fig. 3. Triangle de Schroedinger

tion de sphère, parce que ce procédé a été proposé par Schroedinger 1920. L'équation de l'isoluminance est comme suit.

$$x^2 + y^2 + z^2 = K^2 = r + v + b = \text{luminance}$$

Les signes. Cependant nous avons négligé les signes dans l'équation définissant les coordonnées. Les voici.

$$x = \pm\sqrt{r} \qquad y = \pm\sqrt{v} \qquad z = \pm\sqrt{b}$$

Une valeur (valeur positive) de r est remplacée au choix par 2 valeurs de x : $+\sqrt{r}$ ou $-\sqrt{r}$. Comment choisir? Ci-haut, nous avons choisi des signes +, c'est-à-dire +++, et cela désigne l'octant principal. Nous avons tout autant le droit de choisir un, deux ou même trois signes -. Ainsi occuperons-nous à volonté les 8 octants, ce que symbolise l'expression avec 3 choix.

$$\pm \pm \pm$$

La sphère. Le résultat est une sphère complète. Cette sphère est garnie des mêmes couleurs que le triangle de Maxwell, et que le triangle de Schroedinger. C'est en fait le triangle de Schroedinger répété 8 fois, avec des jeux de symétrie (que 3 miroirs trièdres permettraient de réaliser). (Fig. 4).

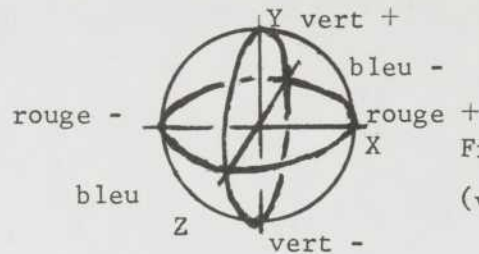


Fig. 4. Sphère de Schroedinger
(vecteur \mathbf{l})

Disons que c'est la sphère des couleurs de Schroedinger. La physiologie de la vision colorée se prête à réaliser une telle sphère.

Expérience No 2 (physique)

Ondes déphasées. Cette sphère répète 8 fois la même information. Ne serait-il pas possible de découvrir quelque différence appropriée entre les octants? Il faudrait pour cela que les signes des amplitudes soient autre chose qu'un artifice de calcul. Par exemple, x_+ et x_- opposeraient leurs effets.

Or la physique des ondes lumineuses nous permet d'établir un faisceau + et un faisceau -, pour chacune des lumières primaires. En effet, il y a telle chose que la phase mutuelle de 2 ondes, lesquelles peuvent être en phase ou en opposition de phase, l'une est alors 0° et l'autre π , l'une + et l'autre -. Cette phase se manifeste dans les expériences d'interférence et de diffraction, telles que fournies par les taches d'huile et les bulles de savon Saint-Dizier 1978. (Fig. 5). On sait qu'une réflexion dure change la phase de π Lorrain et

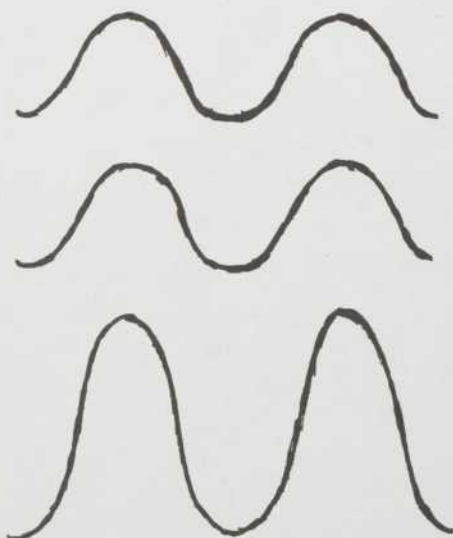
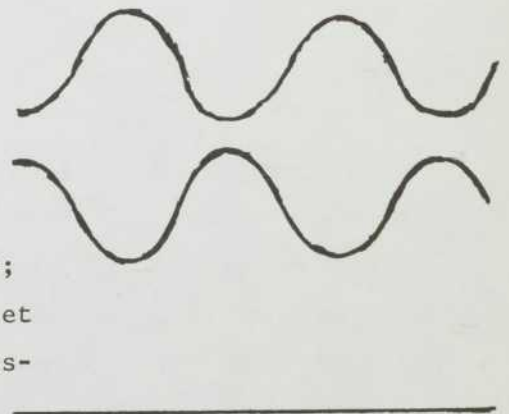


Fig. 5. Réunies,
2 ondes pareilles
et en phase (+ et
+ ou - et -): am-
plitude double,
luminance quadruple;
en opposition(+ et
- ou - et +): obs-
curité



Corson 1978, Chap. XII.

Pour un primaire donné, 2 faisceaux semblables par ailleurs et de même signe ajoutent leurs effets, s'ils sont de signes opposés, ils s'opposent et on a l'obscurité. (Fig. 6).

++ ou -- → lumière

+ - ou - + → obscurité

Nous pouvons attacher une telle signification aux signes de x, de y et de z.

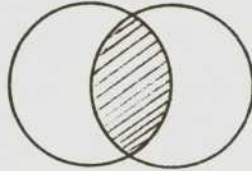


Fig. 6. Signes opposés

Six faisceaux, la sphère. Ainsi, nous nous donnons 6 faisceaux plutôt que 3, ces 6 faisceaux venant par paires, opposés en phase. Pris séparément, l'un des faisceaux de la paire a le même aspect que l'autre. Réunis, ils se retranchent, pour laisser une différence nette d'un signe ou de l'autre.

$$(x_+, x_-) = |x_+| - |x_-| = x$$

Les 6 faisceaux peuvent se désigner par l'unité sur les axes de la sphère.

X_+ X_- Y_+ Y_- Z_+ Z_-

Si on se borne à réaliser des doublets de noms différents, le signe n'importe pas: ++ 0 et - + 0, c'est-à-dire x_+y_+ et x_-y_+ , ont le même aspect, ils sont jaunes. De même pour des triplets: +++ et + - + ont le même aspect. Les interférences entre signes n'interviennent qu'à l'intérieur d'une paire.

Examinons les doublets médians, de 2 noms, il y en a 12. Appelons les jaune (XY), cyan (YZ) et magenta (ZX); avec 4 jeux de signes, cela fait bien 12. Voyons ce que donne leur union 2 à 2, par exemple comme dans la figure 7.

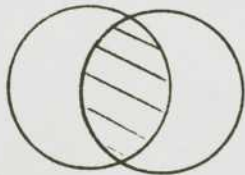


Fig. 7. Jaune et jaune → rouge, jaune, vert
cyan et cyan → vert, cyan, bleu
magenta et magenta → bleu, magenta, rouge

Ainsi 2 jaunes peuvent donner du rouge (++ et +-) et du vert (-- et +-). Ces doublets se repèrent sur la sphère de Schroedinger (fig. 8).

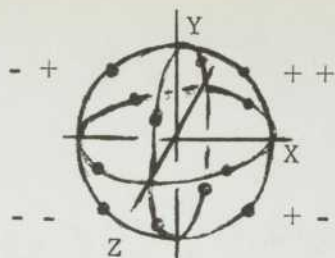


Fig. 8. Les 12 doublets médians. On a désigné les 4 jaunes

Nous tenons donc là des faisceaux (les doublets), doués de propriétés chromogènes curieuses, mais parfaitement compréhensibles. Après tout, blanc et blanc donnent de multiples teintes dans une tache d'huile.

Réalisons maintenant les 8 triplets médians XYZ, paraissant tous d'un bleu pourpre, à moins qu'on ne regarde à travers le filtre jaune décrit, alors ils paraissent blanc équilibré. L'union en proportions égales de ces triplets pris 2 à 2 donne 6 couleurs, qui sont rouge, vert, bleu, jaune, cyan et magenta (fig. 9). La construction géométrique est facile à réaliser avec 9 rubans de

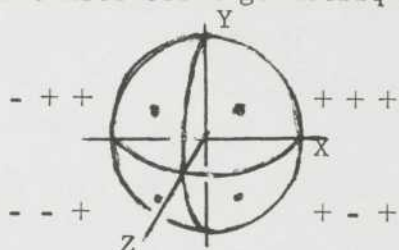


Fig. 9. 4 des 8 triplets médians

plastique transparents formés en autant de cercles égaux.

Répetons encore que ces résultats découlent de la cohérence mutuelle. Des faisceaux incohérents ne peuvent qu'ajouter leurs effets, et cette addition se fait en ajoutant les intensités ou les luminances, et non les amplitudes.

Secondaires jouant le rôle de primaires nouveaux. Fabriquons-nous la collection des doublets médians. Ces doublets peuvent nous servir de nouveaux primaires, car réunis 2 à 2 ou 3 par 3 en proportions convenables, ils synthétisent toute la gamme du triangle de Maxwell. Avec des faisceaux incohérents comme dans l'expérience No 1, on est limité à un triangle quart du triangle de Maxwell (fig. 10).

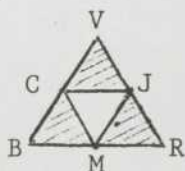


Fig. 10. Primaires nouveaux dans l'expérience No 1

Rotation d'axes

Une manière de choisir ces nouveaux primaires est: jaune + +, jaune - +, bleu inchangé. Cela représente une rotation des axes de 45° autour de l'axe des Z restant inchangé. Chaque axe nouveau peut à son tour être pris + et -, appelons-les X_1, Y_1, Z_1 . En jouant sur les valeurs des nouvelles coordonnées, on peut répéter toute la sphère. En général on peut choisir un angle θ différent de 45° . Des formules algébriques décrivent les axes nouveaux. (Fig. 11).

$$X_1 = X \cos \theta + Y \sin \theta \quad Y_1 = -X \sin \theta + Y \cos \theta \quad Z_1 = Z$$

$$(X_1, Y_1) = M.(X, Y)$$

$$M = \begin{vmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ -\sin \theta & \cos \theta \end{vmatrix}$$

Avec $\theta = 45^\circ$, $\cos \theta = \sin \theta = 1/\sqrt{2}$. Avec les nouvelles coordonnées, on vérifie que la luminance répond encore à la même équation, il y a là une invariance par rapport à la rotation des axes.

$$x_1^2 + y_1^2 + z_1^2 = x^2 + y^2 + z^2 = K^2$$

En général, nous pouvons obtenir 3 primaires nouveaux en choisissant 3 points quelconques sur la sphère, sauf qu'ils dessinent un trièdre trirectangle. 2 primaires nouveaux peuvent être de même couleur, un primaire peut être un blanc. L'équation de passage renferme une matrice 3x3.

$$(X_1, Y_1, Z_1) = M.(X, Y, Z)$$

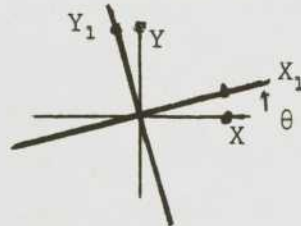


Fig. 11. Rotation θ autour de l'axe Z

Produit scalaire

Dans l'expérience No 1, dans le triangle et l'espace de Maxwell des intensités et des luminances, il n'est pas possible de définir le produit scalaire de 2 vecteurs arbitraires. Cela peut se rattacher à la forme de l'équation d'invariance, qui est une somme des valeurs r, v et b. Dans l'espace des couleurs de Schroedinger, il en est autrement, et cela peut se rattacher à la forme de l'équation d'invariance, qui fait appel à la règle du carré de l'hypothénuse. Ce sont les formules mêmes de la géométrie ordinaire.

Voici comment les règles du produit scalaire peuvent se formuler. D'abord pour les vecteurs unités.

$$X.X = Y.Y = Z.Z = 1 \quad X.Y = Y.X = Y.Z = Z.Y = X.Z = Z.X = 0$$

Ensuite pour 2 vecteurs arbitraires ℓ et ℓ' , en indiquant les vecteurs unités. (Fig. 12).

$$\ell \cdot \ell' = (xX+yY+zZ) \cdot (x'X+y'Y+z'Z) = xx'+yy'+zz'$$

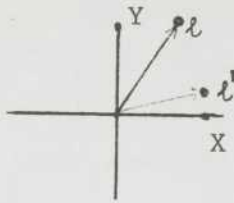


Fig. 12. Produit scalaire $\ell \cdot \ell'$ dans le plan XY

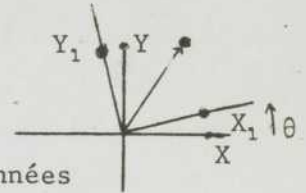


Fig. 13. Coordonnées de ℓ selon les axes X_1 et Y_1

Une application de cette règle consiste à chercher les coordonnées de ℓ dans le système X_1, Y_1, Z_1 , lorsqu'on les connaît dans le système X, Y, Z . Prenons les expressions plus haut pour les nouveaux axes. Il y a là un jeu de projection sur les axes nouveaux. (Fig. 13).

$$x_1 = (xX+yY+zZ) \cdot (X\cos\theta+Y\sin\theta) = x\cos\theta+y\sin\theta$$

$$y_1 = (xX+yY+zZ) \cdot (-X\sin\theta+Y\cos\theta) = -x\sin\theta+y\cos\theta$$

$$z_1 = (xX+yY+zZ) \cdot Z = z$$

Les binômes obtenus ne sont cependant pas des sommes algébriques ordinaires, à la différence des binômes comparables en géométrie ordinaire. En géométrie ordinaire, les composantes d'un vecteur sont toutes des longueurs. Les composantes selon X, Y et Z deviennent totalement indiscernables, une fois projetées sur l'un des nouveaux axes. Dans le cas actuel, les termes du binôme sont les amplitudes d'ondes de fréquences différentes, ils doivent être traités à leur tour comme des vecteurs mutuellement orthogonaux. Pour avoir la luminance, il faut prendre le produit scalaire de ces binômes par eux-mêmes, ou trouver leur norme quadratique. Selon les règles données, et en appelant x_1^2, y_1^2, z_1^2 les produits scalaires.

$$x_1^2 = x_1 \cdot x_1 = (xX\cos\theta+yY\sin\theta) \cdot (xX\cos\theta+yY\sin\theta) = x^2 \cos^2\theta + y^2 \sin^2\theta = r_1$$

$$y_1^2 = y_1 \cdot y_1 = (-xX\sin\theta+yY\cos\theta) \cdot (-xX\sin\theta+yY\cos\theta) = x^2 \sin^2\theta + y^2 \cos^2\theta = v_1$$

$$z_1^2 = z_1 \cdot z_1 = z \cdot z = z^2 = b_1$$

De la sorte, on obtient la luminance totale correcte K^2 , qui est invariante par rapport aux rotations θ autour de Z . Il est commode de définir des coordonnées réduites dont le carré ordinaire soit égal aux luminances. Ce sont là des espèces d'amplitudes efficaces, attribuables à une onde fictive. Les voilà.

$$x_1' \quad y_1' \quad z_1' \quad x_1'^2 = r_1 \quad y_1'^2 = v_1 \quad z_1'^2 = b_1$$

Dans le cas général, les formules de transformation sont analogues, elles impliquent une matrice 3×3 pouvant comprendre 9 termes différents de 0.

$$(x_1, y_1, z_1) = M.(x, y, z)$$

En général, chaque coordonnée nouvelle est un trivecteur.

Primaires polychromatiques

I. Dans ces rotations d'axes et ces transformations de primaires, les secondaires devenus nouveaux primaires ne peuvent pas être remplacés par des lumières monochromatiques de même aspect s'il en est, c'est-à-dire physiologiquement équivalentes. Par exemple, le mélange XY +- ou -+ équilibre sensiblement le jaune Na du sodium. Cependant, si on essaye de remplacer XY par la lumière monochromatique Na, il est évident que tous les mélanges Na, Na₊, Na₋, ne donneront jamais du rouge ni du vert, ils ne donneront que du jaune.

II. Par ailleurs, les raisonnements concernant les phases + et - restent valables avec des primaires composites comprenant 2 longueurs d'ondes, ou même un spectre continu. En effet, à partir d'un faisceau quelconque, de composition spectrale (λ), il est toujours possible en principe de réaliser un autre faisceau dans lequel chaque lumière monochromatique est déphasée de π par rapport au faisceau d'origine. Il y a bien alors un faisceau primaire + (disons l'original), et un faisceau primaire -.

Jeux des signes (No 1 et No 2)

Dès le début, il s'est agi de mélanges purement additifs, symbolisés par + + +. Dans l'expérience No 1 et dans l'espace du triangle de Maxwell, il n'est pas question d'autres signes. Dans l'expérience No 2 et dans l'espace de la sphère de Schroedinger, un nouveau jeu de signes apparaît. Il s'agit toujours de mélange additif, dans ce sens que les faisceaux sont envoyés ensemble sur un écran, mais le fait de la cohérence oblige à parler, pour chaque signe + précédent, d'un signe + et d'un signe - qui ajoutent un nouveau renseignement. Le premier jeu + + + résulte de la physiologie, le deuxième jeu, + - + - + - résulte de la physique. Nous avons donc des raisons d'écrire un tableau présentant ces jeux et montrant que 2 signes du deuxième jeu sont associés à 1 signe du premier. Sans le deuxième jeu, l'expérience No 2 serait inexplicable. Ce tableau suffit, tant qu'on se contente de synthétiser une plage, appelons-la plage étalon, sans chercher à la comparer à une autre plage voisine.

Tableau I. Jeux des signes

	Expérience No 1			Expérience No 2		
	Espace de Maxwell			Espace de Schroedinger		
	Espace des luminances			Espace des amplitudes		
	Lumières incohérentes			Lumières cohérentes		
	r (x)	v (y)	b (z)	(r) x	(v) y	(b) z
1er. Origine physiologique	+	+	+	+	+	+
2ème. Origine physique				+	-	+
					-	-

Au lieu du dernier jeu de signes, on pourrait écrire une flèche vers le haut ou vers le bas: ↑ ↓.

Désaturation

Cependant, nous pouvons bien nous intéresser à comparer la plage étalon des expériences ci-dessus avec une autre plage voisine que nous appelons plage échantillon, c'est là l'essentiel de la colorimétrie visuelle. Nous savons qu'alors, il faut disposer de la possibilité de désaturer la plage échantillon. On ne peut pas se contenter de l'étalon de pure synthèse additive. (Fig. 14).

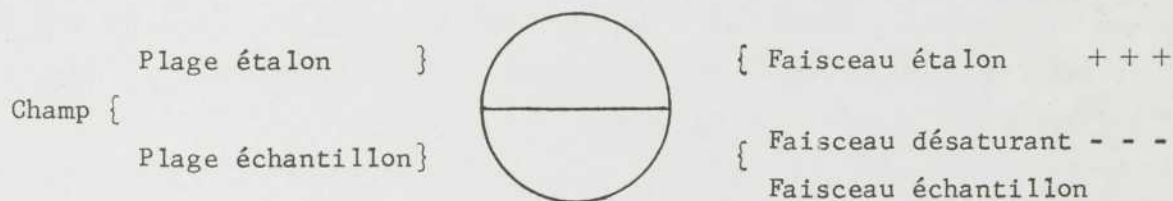


Fig. 14. Le champ colorimétrique

C'est l'origine du principe de Grassmann, qui conduit à écrire une équation algébrique pour l'équilibre, en intensités ou en luminances. Les termes négatifs de cette équation correspondent aux 3 signes - du faisceau désaturant. Reconnaisant que ce faisceau est physiquement distinct du faisceau étalon, nous lui attribuons des valeurs distinctes d_r, d_v, d_b . Demers 1977, 1978.

Expérience No 3 (physiologie)

Six faisceaux. Reprenons l'expérience No 1 (primaires non cohérents), mais en réalisant cette fois le champ colorimétrique complet. Nous avons déjà les 3 primaires de l'étalon, il nous faut 3 faisceaux semblables en qualité, mais dirigés en luminances d_r, d_v, d_b sur la plage échantillon, à volonté. Il nous faut un autre triangle de Maxwell et un autre espace de Maxwell pour figurer ce

faisceau désaturant. (Fig. 15). L'échantillon q équilibre la résultante globale de m faisceau étalon et d faisceau désaturant. r et d_r sont physiquement

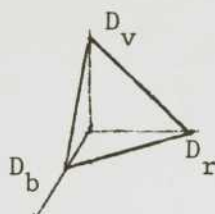
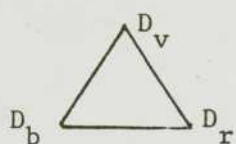


Fig. 15. Triangle de Maxwell pour les faisceaux désaturants

distincts et ajustables séparément, de même v et d_v , b et d_b , nous avons en tout 6 faisceaux. Voici l'équilibre.

$$q = m - d = r + v + b - d_r - d_v - d_b$$

On obtient un nouvel équilibre valable en remplaçant le binôme $r - d_r$ par un autre ayant la même différence. C'est là une condition d'invariance: nous dirons que c'est l'invariance de Grassmann, elle s'exprime par l'équation.

$$r - d_r = r'$$

Pour un échantillon donné, r' est une constante, positive si l'équilibre est accessible sans désaturation, comme ce serait pratiquement le cas avec Na 589, lumière jaune bien connue du sodium, et négative si la désaturation est nécessaire, comme ce serait le cas avec Cd 508,6, lumière verte du cadmium. (Fig. 16). Il y a des équations comparables pour v et d_v , b et d_b . Le diagramme est

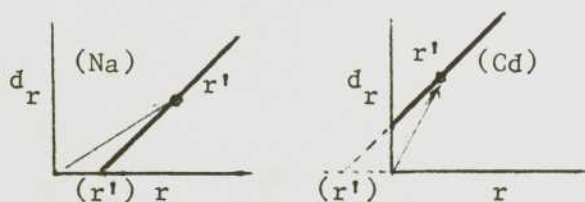


Fig. 16. Invariance de Grassmann

une demi-droite à 45° . Nous appellerons encore r' le point et le bivecteur (r, d_r) . Nous pouvons aussi avoir une constante r' nulle: c'est ce qui arrive si le primaire rouge est superflu pour assurer l'équilibre. Prenons plutôt b' : nous n'avons pas besoin de bleu pour équilibrer Na 589, nous pouvons ajouter également de bleu à travers tout le champ, la constante b' s'annule, et l'invariance de Grassmann prend l'aspect d'une demi-droite issue de l'origine. (Fig. 17).

Tout en faisant usage de primaires incohérents, nous pouvons recourir aux amplitudes chromatiques. Au triangle de Schroedinger pour l'étalon (fig. 3), s'ajoute un autre triangle pareil, pour les faisceaux désaturants. (Fig. 18).

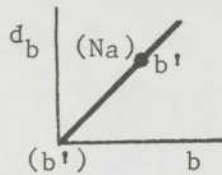


Fig. 17. Invariance de Grassmann
($b' = 0$)

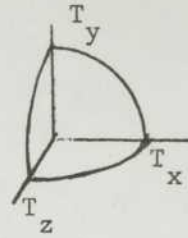


Fig. 18. Triangle de Schroedinger pour les faisceaux désaturants

Voici les définitions des amplitudes chromatiques des faisceaux désaturants.

$$t_x = \sqrt{d_r} \quad t_y = \sqrt{d_v} \quad t_z = \sqrt{d_b}$$

Avec les amplitudes chromatiques décrites, les invariances de Grassmann prennent l'aspect de branches d'hyperboles. (Fig. 19). Voici les équations.

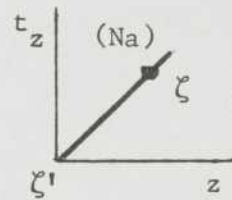
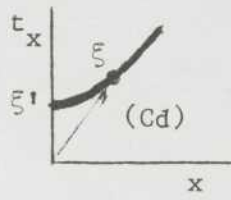
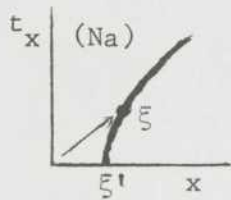


Fig. 19. Invariances de Grassmann, en négligeant le signe - des racines

$$x^2 - t_x^2 = r' = \xi'^2 \quad y^2 - t_y^2 = v' = \eta'^2 \quad z^2 - t_z^2 = b' = \zeta'^2$$

Les constantes ξ' , η' , ζ' sont réelles ou imaginaires, \Re ou \Im .

Expérience No 4 (physique)

Répetons l'expérience No 3 dans les conditions de l'expérience No 2, c'est-à-dire avec cohérences mutuelles et en tenant compte des signes des racines carrées. Il y a 6 faisceaux formant l'étalon, augmentés de 6 faisceaux formant le faisceau désaturant, semblables 2 à 2 aux précédents. Voici ces 12 faisceaux composants du vecteur global κ , qui ont entre eux des relations conduisant, suite à la physique des interférences entre ondes + et -, à 6 faisceaux nets.

6 faisceaux étalon ℓ	x_+	x_-	y_+	y_-	z_+	z_-
6 faisceaux désaturants t	t_{x+}	t_{x-}	t_{y+}	t_{y-}	t_{z+}	t_{z-}
3 faisceaux nets étalon ℓ	x		y		z	
3 faisceaux nets désaturants t	t_x		t_y		t_z	

Il nous faut un nouvel espace complet de Schroedinger pour le vecteur t (fig. 20), s'ajoutant à celui pour le vecteur ℓ . (Fig. 4).

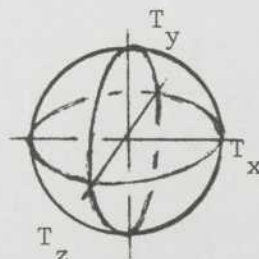


Fig. 20. Espace de Schroedinger pour le vecteur t

Le vecteur global est κ .

$$\kappa = (\ell, t) = (x, y, z, t_x, t_y, t_z)$$

Rotation des axes. Dans l'espace des t , nous pouvons procéder à des rotations des axes, correspondant au choix de nouveaux primaires. Les faisceaux ℓ et t n'ont pas l'occasion d'interférer entre eux, puisqu'ils ne se rencontrent pas, leur relation est d'origine physiologique.

Jeux des signes (Nos 3 et 4)

La physiologie, qui permet la comparaison colorimétrique, conduit à doubler les 3 signes + des mélanges purement additifs, en intensités ou en luminances, de 3 signes -. La physique du faisceau désaturant à son tour, conduit aux signes + et - pour chacun de ces signes -. Voilà le tableau qui convient.

Tableau II. Jeux des signes

	Expérience No 3			Expérience No 4		
	Espace de Maxwell			Espace de Schroedinger		
	Espace des luminances			Espace des amplitudes		
	Lumières incohérentes			Lumières cohérentes		
	$r(x)d_r(t_x)$	$v(y)d_v(t_y)$	$b(z)d_b(t_z)$	$(r)x(d_r)t_x$	$(v)y(d_v)t_y$	$(b)z(d_b)t_z$
1er	+	+	+	+	+	+
	-	-	-	-	-	-
2ème				+ -	+ -	+ -
				+ -	+ -	+ -

1er jeu, origine physiologique; 2ème jeu, origine physique

Invariances de Grassmann. (Expérience No 4)

Bivecteurs. Dans les dernières équations d'invariance de Grassmann ci-dessus, nous avons utilisé les bivecteurs ξ , η , ζ . Il est avantageux de les écrire en notation complexe. Eux aussi composent le vecteur global κ .

$$\xi = x + it_x \quad \eta = y + it_y \quad \zeta = z + it_z \quad \kappa = (\xi, \eta, \zeta)$$

Etant donnés les jeux des signes de la présente expérience, nous obtenons des hyperboles à 2 branches si le primaire correspondant est nécessaire dans l'é-

quilibre. S'il est superflu, nous obtenons 2 droites se croisant à l'origine. (Fig. 21). Un aspect du champ équilibré figure en général par 1 point avec les lumières incohérentes de l'expérience No 3 sur de tels diagrammes (exemple r'

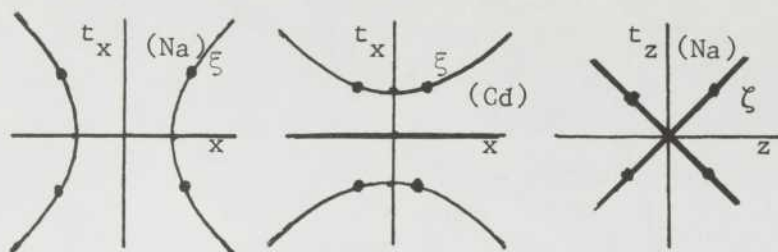


Fig. 21. Invariances de Grassmann

fig. 16, ξ ou ζ fig. 19) et par 4 points dans l'expérience No 4.

Nous ne pouvons pas écrire que le carré de ξ ou que le produit $\xi\xi^*$ est égal à r' , mais nous appellerons carré simple la fonction nécessaire, distinguée du carré ordinaire par des parenthèses excédentaires: $(\xi)^2$. Rappelons encore une fois que les invariances de Grassmann, symbolisées ci-après, résultent de la physiologie de l'équilibre colorimétrique.

$$(\xi)^2 = \xi'^2 \quad (\eta)^2 = \eta'^2 \quad (\zeta)^2 = \zeta'^2$$

Rotations des bivecteurs. Parallèlement aux rotations d'axes dans les espaces de Schroedinger pour ℓ et pour t (θ figs 11 et 13), nous pouvons envisager des rotations des bivecteurs dans le plan complexe. Ces rotations (β) correspondent seulement, rappelons-le, à des changements du champ colorimétrique, qui ne cesse pas pour autant d'être équilibré pour l'observateur. Elles représentent un déplacement du point figuratif des équilibres.

Examinons par exemple le bivecteur ξ rouge. (Fig. 22). Nous utilisons avec

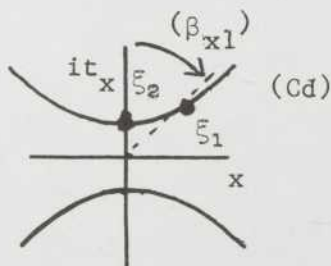


Fig. 22. Rotation du bivecteur ξ dans le plan complexe. 1er exemple

avantage le cosinus hyperbolique et le sinus hyperbolique, ce qui se comprend, puisqu'il s'agit d'hyperboles, et les paramètres β_x et $\alpha_{\beta x}$,

$\beta_x = x/t_x$ $\text{ch}^2 \alpha_{\beta x} = 1/(1-\beta_x^2)$ $\text{sh}^2 \alpha_{\beta x} = \beta_x^2/(1-\beta_x^2)$
 $\alpha_{\beta x}$ joue un rôle comparable à celui de θ .

Voici 2 exemples des formules qu'on obtient. Notre échantillon (Cd) requiert, à tout le moins, l'amplitude désaturante t_{x2} rouge, alors que x_2 est nulle. Alors β_{x2} vaut 0. Ajoutons du rouge aux 2 plages, et nous atteignons une autre condition d'équilibre, celle du point ξ_1 , avec $\beta_{x1} = x_1/t_{x1}$. Avec les fonctions hyperboliques, le calcul donne, sous forme matricielle, la formule de transformation.

$$\xi_1 = (x_1, t_{x1}) = \begin{pmatrix} 0 & \text{sh} \alpha_{\beta_{x1}} \\ 0 & \text{ch} \alpha_{\beta_{x1}} \end{pmatrix} \cdot (0, t_{x2}) \quad \xi_2 = (0, t_{x2})$$

$$\xi_2 = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 1/\text{ch} \alpha_{\beta_{x1}} \end{pmatrix} \cdot \xi_1$$

Et voilà l'autre exemple. Prenons cette fois des conditions ξ_2 pour lesquelles l'étalon l contient déjà une amplitude x_2 non nulle de rouge. (Fig. 23). La matrice contient l'argument $\alpha_{\beta x}$, qui dépend de β_{x1} et de β_{x2} .

$$\xi_1 = \begin{pmatrix} \text{ch} \alpha_{\beta x} & \text{sh} \alpha_{\beta x} \\ \text{sh} \alpha_{\beta x} & \text{ch} \alpha_{\beta x} \end{pmatrix} \cdot \xi_2 \quad \xi_2 = \begin{pmatrix} \text{ch} \alpha_{\beta x} & -\text{sh} \alpha_{\beta x} \\ -\text{sh} \alpha_{\beta x} & \text{ch} \alpha_{\beta x} \end{pmatrix} \cdot \xi_1$$

$$\beta_x = (\beta_{x1} - \beta_{x2}) / (1 - \beta_{x1} \beta_{x2})$$

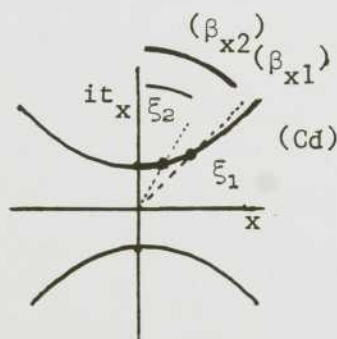


Fig. 23. Rotation du bivecteur ξ dans le plan complexe. 2ème exemple

Ces formules valent en signes pour $\beta \neq \pm 1$. Lorsqu'on a $\beta = \pm 1$, les formules sont différentes, il faut un paramètre k , et on évite le point nul, k est + ou -.

$$\xi_1 = k \xi_2 \quad \xi_2 = (1/k) \xi_1 \quad \text{etc}$$

Ces dernières formules s'appliquent avec ζ pour le bleu lorsqu'on équilibre la lumière (Na). (Fig. 24). Appelons genre 0 les droites $\beta = \pm 1$, qui renferment le

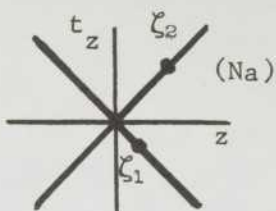


Fig. 24. Transformation du bivecteur si $\beta = \pm 1$

point d'intervention nulle du primaire, genre + la région où l'étalon est plus fort que la désaturation, et genre - l'autre région. (Fig. 25).

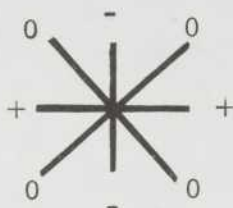


Fig. 25. Régions des genres 0, + et - dans le plan du bivecteur. Les passages $+ \rightarrow -$, $- \rightarrow +$ n'existent pas (invariance de Grassmann)

Conservation du genre

Montrons les 3 bivecteurs dans la colorimétrie (Cd). (Fig 26). Le genre est obligatoirement + pour le vert et le bleu, - pour le rouge, quelles que soient les transformations de l'équilibre donné avec un échantillon, et cela reste vrai d'ailleurs pour les échantillons (Cd) de toutes les intensités. Avec les 3 pri-

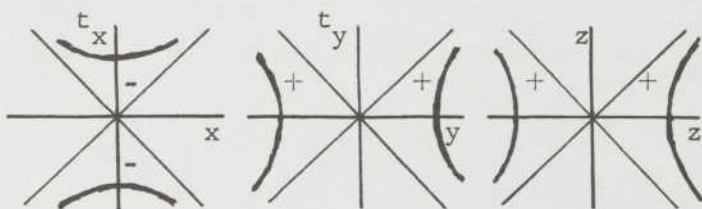


Fig. 26. Equilibre de la lumière (Cd), genre - pour le rouge, genre + pour le vert et le bleu

maires proposés, voici à cet égard la distribution des genres, à travers le spectre des lumières monochromatiques. Tableau III.

Tableau III. Genres des lumières monochromatiques

$m\mu$	RX	VY	BZ	$m\mu$	RX	VY	BZ	$m\mu$	RX	VY	BZ	$m\mu$	RX	VY	BZ
770	+	0	0	600	+	+	0(-)	500	-	+	+	400	+	-	+
700	+	0	0	550	+	+	0(-)	450	-	+	+	380	+	-	+
650	+	+	0	546,1	0	+	0	435,8	0	0	+	Pourpres	+	-	+

Avec des primaires différents non monochromatiques et délavés de blanc, certains équilibres demanderaient 2 primaires genre -. Tableau IV.

Tableau IV. Genres des lumières monochromatiques

Les primaires sont comme Tableau III, mais chacun délavé de blanc

m μ	RX	VY	BZ	m μ	RX	VY	BZ	m μ	RX	VY	BZ	m μ	RX	VY	BZ
770				600				500				400			
700	+	-	-	550				450				380			
650				546,1	-	+	-	435,8	-	-	+	Pourpres			

Analogies avec la relativité restreinte

Les formules et les observations précédentes, qui décrivent mathématiquement l'expérience sur la couleur No 4, ressemblent de façon remarquable à celles de la relativité restreinte, avec une dimension de temps et une dimension d'espace. En effet, il suffit d'écrire, par analogie avec l'expérience sur la lumière (Cd), et on trouve la transformation de Lorentz:

$$t_x = \text{temps}, \quad x = \text{espace}.$$

Les unités étant telles que c vitesse de la lumière vaut l'unité. Le bivecteur ξ est l'événement.

$$\xi = (t_x, x) = \text{événement}$$

Dans les conditions de l'exemple à la figure 22, t_{x2} est le temps propre d'une particule au repos dans un repère où elle coïncide avec l'origine des x . Dans un autre repère, t_{x1} est l'époque, x_1 est la position pour le même événement de la même particule, ce repère a la vitesse $-\beta_{x1}$ par rapport au premier. La formule en ch et sh donne bien le ralentissement des horloges. (Fig. 27).

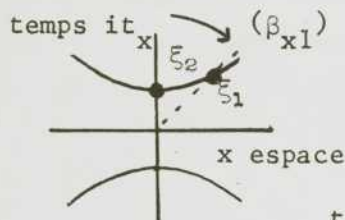


Fig. 27. (D'après fig. 22). Un même événement. Bivecteurs ξ_2 dans le repère propre, et ξ_1

$$t_{x1} = t_{x2} \sqrt{(1-\beta_{x1}^2)}$$

Les formules pour les conditions du 2^{ème} exemple (fig. 23) sont analogues au cas d'une vitesse β_{x1} ramenée au repère ayant la vitesse $-\beta_{x2}$. Nous obtenons alors correctement la formule pour le temps t_{x2} établi par un observateur qui accompagnerait la particule. A cet observateur, la particule paraît se déplacer avec la vitesse β_x , nous tenons la formule de composition des vitesses. (Fig 28).

$$\beta_x = (\beta_{x1} - \beta_{x2}) / (1 - \beta_{x1}\beta_{x2}) \quad t_{x1} = t_{x2} \sqrt{(1-\beta_x^2)}$$

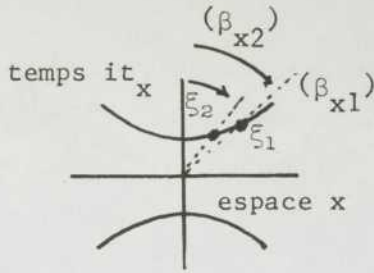


Fig. 28. (D'après fig. 23). Un même événement, bivecteurs ξ_1 et ξ_2 , vitesses β_{x1} et β_{x2} . Tous les repères contiennent le bivecteur $(0, 0)$

La conservation du genre dans l'invariance de Grassmann (figs 25, 26), trouve son analogue relativiste dans ce qu'on appelle l'avenir absolu, le passé absolu et l'impossibilité de communiquer en dehors du cône de lumière, entre 2 événements qui sont mutuellement genre temps et genre espace. Les communications de notre monde, concernant les particules de masse au repos non nulle, sont genre temps, analogue du genre - dans l'équilibre avec la lumière (Cd) pour le rouge. (Figs 21, 26). (Fig. 29).

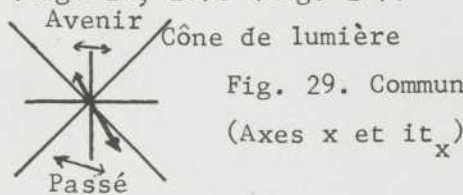


Fig. 29. Communications permises.

(Axes x et it_x)

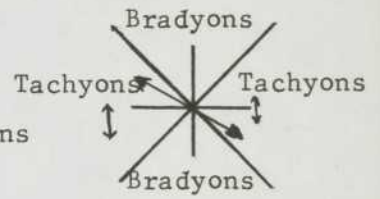


Fig. 30. Tachyons

(Axes x et it_x)

Selon certaines spéculations sur les tachyons, ceux-ci, avec leurs vitesses $\beta_x > 1$ sont du genre espace et ne peuvent pas acquérir une vitesse $\beta_x < 1$, les transformations entre $\beta_x > 1$ et $\beta_x < 1$ présentent des problèmes considérables (Antippa 1970, 1974, Recami et Mignani 1974, Mignani et Recami 1976, Cole 1977, 1978, Recami 1978), i. e. entre genre espace et genre temps, analogues aux problèmes de transformations entre genre - et genre + dans les équilibres colorés (fig. 25), ces transformations sont simplement inexistantes. (Fig. 30). Cependant, sur l'existence des tachyons, voir Demers 1978. V. Pappas 1977, Yaccarini 1974, Ziino 1977.

De la sorte, le cône de lumière est analogue au genre 0.

Conclusions

Nous pourrions poursuivre l'examen de ces analogies, mais essayons plutôt de comprendre leur origine proche. Entre l'espace ordinaire et celui de Schrodinger de l'expérience No 2, elles apparaissent parce qu'on a remplacé les luminances par leurs racines carrées qui sont des amplitudes, en conservant les 2 signes des racines carrées, ce qui correspond aux disponibilités des ondes électromagnétiques. C'est le choix des variables qui les fait apparaître.

Quant aux analogies relativistes, elles aussi dépendent du choix des variables, mais en outre, de l'existence des lois physiologiques de l'équilibre colorimétrique, du caractère additif et linéaire de ces équilibres dans l'algèbre de Bouma.

On peut remarquer que si on suit la marche inverse, savoir choisir de nouvelles variables en relativité, les transformations de Lorentz prennent un aspect élémentaire: on remplace le temps par son carré et l'espace par son carré.

$$t_x^2 = d_r \quad x^2 = r$$

L'aspect est celui d'une relation linéaire du premier degré. (Fig. 31). De cette

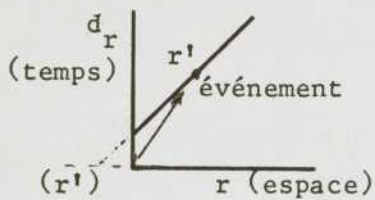


Fig. 31. (D'après fig. 16). Invariance de Lorentz

relation, on peut déduire alors toutes les formules relativistes.

Lévy-Leblond 1976 a démontré d'après la théorie des groupes, la nécessité de la transformation de Lorentz en relativité, en utilisant une dimension de temps et une dimension d'espace. Nous voyons que la transformation de Lorentz s'impose aussi, tout naturellement, dans l'étude de la couleur. Nous pouvons dire que celle-ci fournit un modèle analogique de la relativité.

Appendice I. Coordonnées trichromatiques en amplitudes ξ', η', ζ' (1978)

A toutes fins, voici les coordonnées que nous avons désignées par ξ', η', ζ' établies pour les lumières monochromatiques λ du spectre, de luminances unités, à partir des coordonnées du système luminances RVBCIE(1931), telles que données par Bouma 1965. La normalisation n'est pas basée sur le cardinal illuminant E, mais elle est remplacée par la condition d'égale luminance. Les coordonnées en amplitudes ne totalisent pas l'unité, c'est la somme de leurs carrés qui totalise l'unité. (Tableau V). Ces coordonnées apparaissent fig. 32. Si une coordonnée est nulle, le diagramme est un arc de cercle et non pas une droite. L'information de cette figure répète, avec plus de détails, celle de la figure 5 de Demers 1977.

Tableau V. Coordonnées trichromatiques en amplitudes ξ' η' ζ' (1978)
(Coordonnées trichromatiques RVBCIE(1931), rvb en luminances)

Luminances			Amplitudes			Luminances			Amplitudes				
m μ	r	v	b	ξ'	η'	ζ'	m μ	r	v	b	ξ'	η'	ζ'
380	0,810-1,573	1,763	0,900	1,254	1,328	610	0,675	0,325			0,822	0,570	
390	0,792-1,585	1,794	0,890	1,259	1,339	620	0,780	0,220			0,883	0,469	
400	0,748-1,577	1,829	0,865	1,256	1,352	630	0,856	0,144			0,925	0,379	
410	0,705-1,567	1,862	0,840	1,252	1,365	640	0,912	0,088			0,955	0,297	
420	0,528-1,264	1,736	0,727	1,124	1,318	650	0,950	0,050			0,975	0,224	
430	0,188-0,470	1,282	0,434	1,068	1,132	660	0,972	0,028			0,986	0,167	
435,8		1,000				670	0,984	0,016			0,992	0,125	
440	-0,113	0,297	0,816	1,033	0,545	0,903	680	0,992	0,008		0,996	0,089	
450	-0,319	0,818	0,501	1,056	0,904	0,708	690	0,998	0,002		0,999	0,045	
						700-							
460	-0,435	1,136	0,299	1,066	1,066	0,547	770	1,000			1,000		
470	-0,432	1,280	0,152	1,067	1,131	0,399	Pourpres 770/380 en luminances						
480	-0,355	1,293	0,063	1,059	1,137	0,251	9/1	0,981-0,157	0,176	0,990	1,039	0,420	
490	-0,280	1,256	0,024	1,052	1,121	0,155	8/2	0,962-0,315	0,353	0,981	1,056	0,594	
500	-0,222	1,213	0,009	1,047	1,101	0,095	7/3	0,943-0,472	0,529	0,871	1,068	0,727	
							6/4	0,924-0,629	0,705	0,961	1,093	0,840	
510	-0,177	1,174	0,003	1,042	1,084	0,055	5/5	0,905-0,787	0,882	0,951	1,087	0,939	
520	-0,130	1,129	0,001	1,036	1,063	0,032	4/6	0,886-0,944	1,058	0,941	1,097	1,028	
530	-0,082	1,082		1,028	1,040		3/7	0,867-1,101	1,234	0,931	1,049	1,111	
540	-0,033	1,033		1,018	1,016		2/8	0,848-1,258	1,410	0,921	1,122	1,188	
546,1		1,000			1,000		1/9	0,829-1,416	1,587	0,910	1,190	1,	
550	0,023	0,977		0,152	0,988								
							III. E (spectre équilibré en puissances)						
560	0,091	0,909		0,302	0,953			0,177	0,812	0,011	0,421	0,901	0,105
570	0,176	0,824		0,420	0,908		G (les 3 prim. équilibrés en luminances)						
580	0,282	0,718		0,531	0,847			0,333	0,333	0,333	0,577	0,577	0,577
590	0,409	0,591		0,640	0,769								
600	0,546	0,454		0,739	0,674								

Références

Adel Antippa 1970, "Tachyon-bradyon reciprocity in a causal theory of tachyons with real mass", UQTR-TH-1. 1974, "General three dimensional superluminal transformations and tachyon kinematics", Phys.Rev. D 11, 724-39

P. J. Bouma 1946, "Die Grassmann'schen Gesetze der Farbmischung", Ann. der Physik 12, 545-52. 1971, "Physical aspects of colour", Mac Millan

E. A. B. Cole 1977, "Superluminal transformations using either complex space-time or real space-time symmetry", N. Cim. 40 A, 171-80. 1978, "Subluminal and superluminal transformations in six-dimensional special relativity", N. Cim. 44B, 157-66

Pierre Demers 1977, "La théorie de la trichromie et le vecteur temps en relativité", Color 77 AIC Troy, 150-2. 1978.1, "La perception colorée, modèle de toutes les perceptions humaines", Renc. A.S. Couleur I, Ann. ACFAS 45 No 3, 41-57. 1978.2, "Qu'est-ce que le temps? Une réponse tirée d'un modèle unitaire, basé sur l'analyse de la perception colorée. (Une solution au problème des tachyons, particules hypothétiques plus rapides que la lumière)", Renc. A.S. Couleur I, Ann. ACFAS 45 No 3, 58-63. 1978.3, "Qu'est-ce que le temps? Une réponse tirée du modèle unitaire G3, basé sur l'analyse de la perception colorée. (Une solution du problème des tachyons)", Ann. ACFAS 45 No 1, 89. 1978.4, "Esquisse d'une algèbre linéaire des couleurs, conduisant à une théorie unitaire des perceptions humaines", Ann. ACFAS 45 No 1, 66

J.-M. Lévy-Leblond 1976, "One more derivation of the Lorentz transformation", Am. J. Phys. 44, 271-7

Paul Lorrain et Dale Corson 1978, ("Electromagnétisme"), Colin, sous presse

R. Mignani et E. Recami 1976, "Duration-length symmetry in complex three-space and interpreting superluminal Lorentz transformations", Lett. N. Cim. 16, 449-452

P. T. Pappas 1977, (ref. Cole 1977), Intern. J. Th. Phys. à paraître

Erasmus Recami 1976, "Tachyons, monopoles and related topics, (Proc. 1st session interdisciplinary sem. Tachyons and related topics, Erice 1-15 sept. 1976)", N.-Holland

E. Recami et R. Mignani 1974, "Classical theory of tachyons (Special relativity extended to superluminal frames and objects)", Riv. N. Cim. 4, 209-90

Jean-Pierre Saint-Dizier 1978, "Les couleurs d'interférence". Renc. A.S. Couleur II, Ann. ACFAS 45 No 4, 23-31

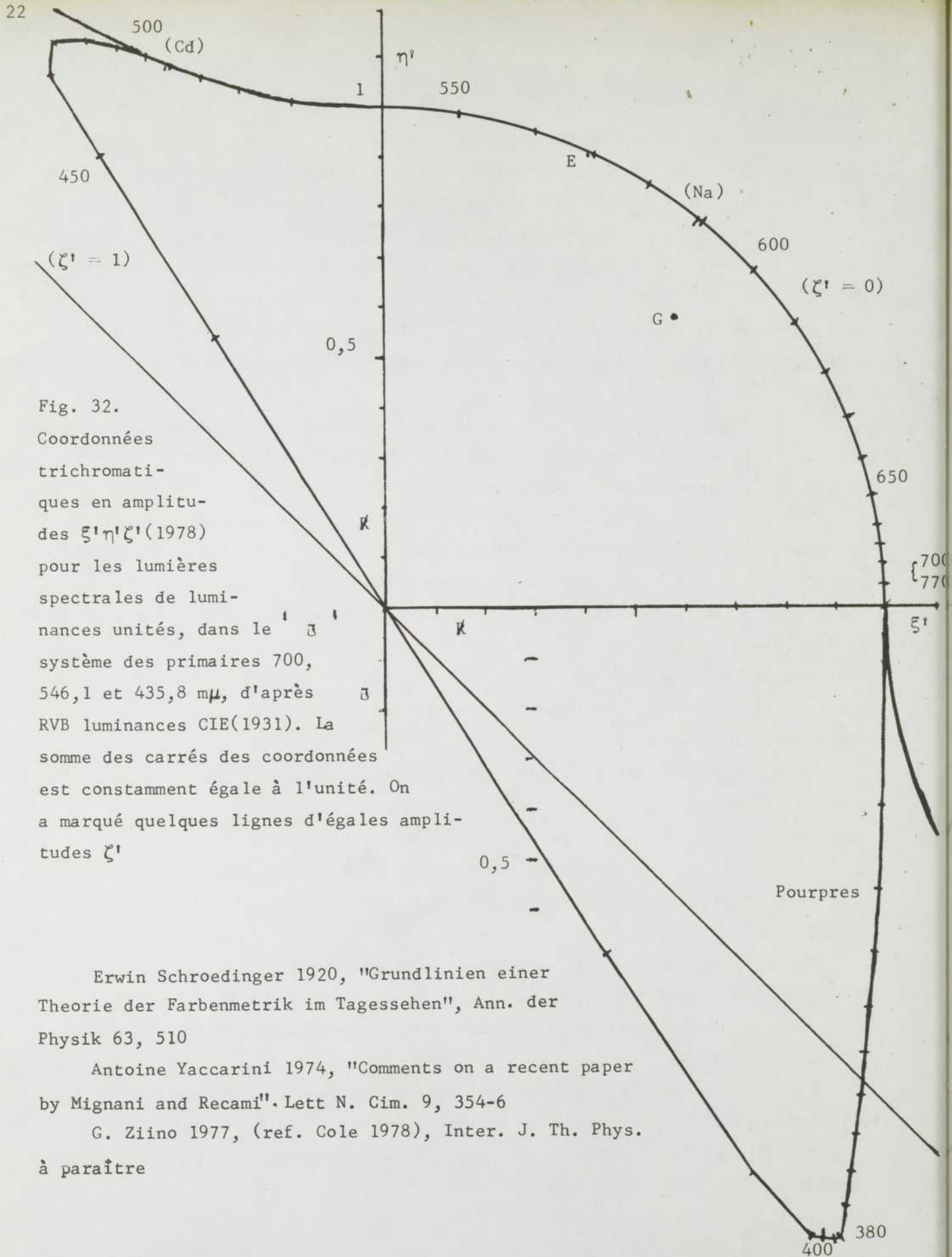


Fig. 32.
 Coordonnées
 trichromati-
 ques en amplitu-
 des $\xi' \eta' \zeta'$ (1978)
 pour les lumières
 spectrales de lumi-
 nances unités, dans le ' ζ' '
 système des primaires 700,
 546,1 et 435,8 $m\mu$, d'après
 RVB luminances CIE(1931). La
 somme des carrés des coordonnées
 est constamment égale à l'unité. On
 a marqué quelques lignes d'éga-
 les amplitudes ζ'

Erwin Schroedinger 1920, "Grundlinien einer
 Theorie der Farbenmetrik im Tagessehen", Ann. der
 Physik 63, 510

Antoine Yaccarini 1974, "Comments on a recent paper
 by Mignani and Recami". Lett N. Cim. 9, 354-6

G. Ziino 1977, (ref. Cole 1978), Inter. J. Th. Phys.
 à paraître

LES COULEURS D'INTERFERENCE

Jean-Pierre Saint-Dizier

L'homme de la rue est régulièrement confronté à des phénomènes colorés qui font les délices expérimentaux des physiciens; ces phénomènes courants sont appelés: couleurs des ailes de papillon, irisation des flaques d'eau due à des fuites d'huile, croix colorées de sources lumineuses vues à travers des rideaux, etc.

Pour le physicien, ces phénomènes signifient: possibilité de mesures d'épaisseur, de mesures de pas d'un réseau, de vérification de planéité, de vérification de parallélisme, de mesures d'efforts. Il est donc tout naturel que, suivant la destinée des physiciens, des mesures de couleurs soient tentées, et appliquées à la quantification des phénomènes observés.

Nous allons essayer, dans cet exposé, de présenter une de ces tentatives appliquée au phénomène d'interférence en lames minces.

Lorsque Isaac Newton 1666 effectua, à l'aide d'un prisme, la décomposition de la lumière blanche émise par le soleil, il mit en évidence l'existence de la lumière homogène, c'est-à-dire qui ne peut être subséquentement transformée à l'aide de prismes ou de systèmes optiques équivalents: il obtint de la sorte des couleurs originales et simples, qu'il appelle aussi primaires, et qui sont "rouge, jaune, vert, bleu et un pourpre violacé, avec aussi orangé, indigo, et une infinie variété de gradations intermédiaires". Il entreprit ensuite de mélanger ces couleurs homogènes, et le résultat de cette expérience d'addition de couleurs est exposé dans la proposition IV, théorème III, de son livre "Opticks" Newton 1704: "Des couleurs peuvent être produites par mélange; ces couleurs seront comme les couleurs de la lumière homogène au point de vue apparence colorée ... cependant, plus le mélange est complexe, moins elles seront saturées et intenses, mais diluées et affaiblies jusqu'à ce que le mélange devienne blanc ou gris".

A la suite de cette expérience d'obtention des couleurs par méthode addi-

tive, Newton tente de résumer les résultats obtenus en employant une méthode de représentation graphique, ancêtre du diagramme chromatique XYZ: il emploie un diagramme circulaire (fig. 1), plaçant les lumières homogènes sur la périphérie dans le même ordre où elles se présentent dans le spectre, le violet et le rouge étant contigus; à l'intérieur de ce cercle peuvent être retrouvées toutes les couleurs non saturées, issues de mélanges, et dont les qualités colorées peuvent être obtenues par une méthode de calcul de centre de gravité.

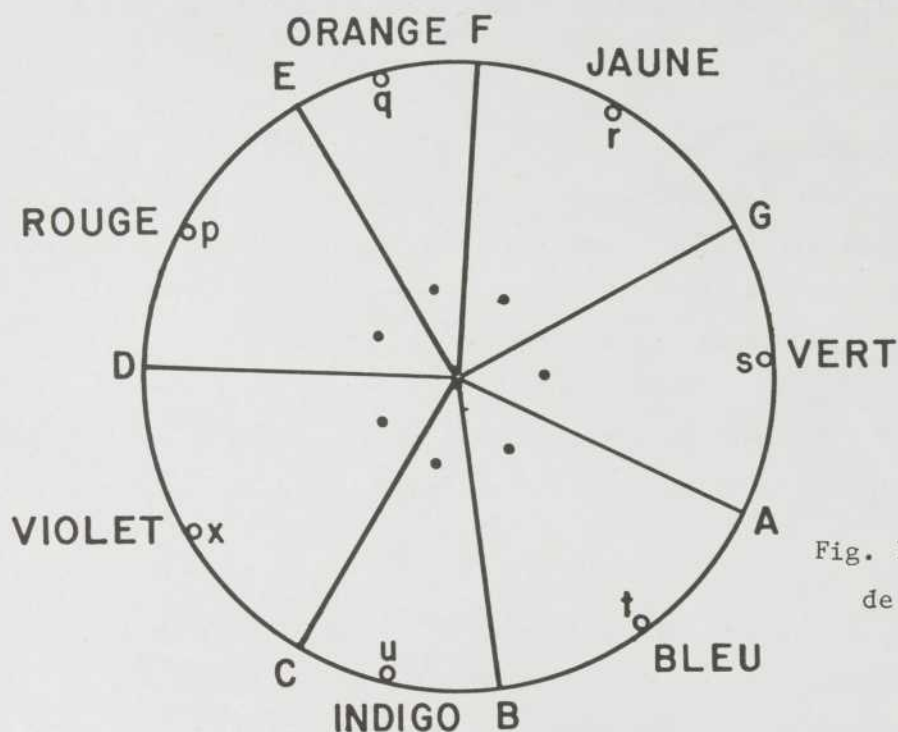


Fig. 1. Cercle de Newton

A la suite de Newton, les études des phénomènes colorés dans certaines expériences de physique se multiplient: en particulier, l'étude de la recombinaison d'ondes lumineuses monochromatiques, issues d'un même point, mais ayant parcouru des distances différentes. Cette étude, qui est à la base même de l'identification de la nature ondulatoire de la lumière, lorsqu'elle est effectuée dans le domaine du visible, entraîne l'observation, en chaque point de l'espace, du résultat du mélange des radiations monochromatiques contenues dans la source, chacune possédant une intensité fonction de son état d'interférence propre, donc de sa longueur d'onde. Ce phénomène d'interférence a été étudié avec différents dispositifs célèbres: on parle ainsi des miroirs de Fresnel, des anneaux de Newton, des trous d'Young, du biprisme de Fresnel, des bilentilles de Billet, à chaque expérience étant ainsi rattaché le nom de son inventeur.

Tableau I. Echelle des teintes de Newton

$\delta m\mu$	Transmission	Réflexion	$\delta m\mu$	Transmission	Réflexion
1er ordre			998	Bleu verdâtre	Orangé rougeâtre
0	Blanc	Noir			vif
40	Blanc	Gris de fer	1101	Vert	Rouge violacé
97	Blanc jaunâtre	Gris lavande			foncé
158	Blanc brunâtre	Bleu gris			
218	Brun jaune	Gris plus clair	3ème ordre		
234	Brun	Blanc verdâtre	1128	Vert jaunâtre	Violet bleuâtre
259	Rouge clair	Blanc			clair
267	Rouge carmin	Blanc jaunâtre	1151	Jaune sale	Indigo
275	Brun rouge sombre	Jaune paille pâle	1258	Couleur chair	Bleu (teinte verdâtre)
			1334	Rouge brun	Vert de mer
281	Violet sombre	Jaune paille	1376	Violet	Vert brillant
306	Indigo	Jaune clair			
332	Bleu	Jaune vif	1426	Bleu violacé	Jaune verdâtre
430	Bleu gris	Jaune brun		grisâtre	
505	Vert bleuâtre	Orangé rougeâtre	1495	Bleu verdâtre	Rose (nuance chair)
536	Vert pâle	Rouge chaud			
551	Vert jaunâtre	Rouge plus foncé	1534	Bleu vert	Rouge carmin
			1621	Vert terne	Carmin pourpre
2ème ordre			1658	Vert jaunâtre	
565	Vert plus clair	Pourpre			
575	Jaune verdâtre	Violet	4ème ordre		
589	Jaune d'or	Indigo	1682	Jaune verdâtre	Bleu gris
664	Orangé	Bleu de ciel	1711	Jaune gris	Vert de mer
728	Orangé brunâtre	Bleu verdâtre	1744	Mauve gris	Vert bleuâtre
747	Rouge carmin clair	Vert		rouge	
			1811	Carmin	Beau vert
826	Pourpre	Vert plus clair	1927	Gris rouge	Gris vert
843	Pourpre violacé	Vert jaunâtre	2007	Bleu gris	Gris presque blanc
866	Violet	Jaune verdâtre			
910	Indigo	Jaune pur	2048	Vert	Rouge chair
948	Bleu sombre	Orangé	5ème ordre		
D'après Bouasse et Carrière			2338	Rose pâle	Vert bleu pâle
1923, p. 124			2668	Vert bleu pâle	Rose pâle

Lorsque Newton étudie le phénomène, il tente d'identifier les couleurs observées, et leurs variations, mais se contente de qualifier subjectivement ces couleurs, sans tenter de les localiser dans son diagramme chromatique; cela donne une énumération connue de nos jours comme l'échelle des teintes de Newton: en voici quelques termes énumérés dans le Tableau I,

Dans ce tableau, les nombres de la colonne de gauche représentent la différence de chemin optique, exprimée en milli-microns, pour les deux parties de l'onde monochromatique qui interfèrent; la colonne centrale explicite les teintes observées si l'observation est faite par transmission, cependant que celle de droite correspond à l'observation de la lumière réfléchie.

Une tentative d'identification rigoureuse et mathématique des teintes obtenues dans les expériences d'interférométrie ou, au sens large, dans toute expérience de modulation des intensités des radiations monochromatiques, ne peut être envisagée tant qu'une théorie simple explicitant l'additivité des lumières colorées n'est pas énoncée. En combinant les hypothèses d'Young 1801, 1807 sur la vision trichromatique, vérifiées par Helmholtz 1866, 1967, et les lois d'additivité des intensités des couleurs énoncées par Grassmann 1853, il fut possible de prévoir que, trois couleurs étant choisies, correspondant aux trois primaires suggérées par T. Young, soit rouge, vert et violet, toute autre couleur peut être obtenue par un mélange convenable et unique de ces trois couleurs de base. Donc, une fois ce point de départ établi, il devient possible d'imaginer un modèle mathématique, et d'identifier, dans un système de coordonnées adéquat, chaque couleur, saturée ou non saturée.

Afin d'illustrer les possibilités de ce type de calcul, nous allons en résumer les étapes et montrer les résultats que l'on peut obtenir. Nous utiliserons les calculs effectués par Yves Le Grand 1942, utilisant une source lumineuse à filament de tungstène, de température de couleur 2848 K, appelée aussi l'étalon A.

On sait que lorsqu'un rayonnement monochromatique, de longueur d'onde λ , transportant un flux d'énergie Φ_0 , se divise dans un appareil interférentiel en deux flux égaux qui se recombinent ensuite après une différence des trajets

optiques δ (fig. 2a), le flux résultant a la valeur

$$\Phi = 2\Phi_0 \cos^2(\pi\delta/\lambda) = \Phi_0(1 + \cos 2\pi\delta/\lambda).$$

Si le rayonnement incident est à spectre continu, de distribution $E(\lambda)$, le flux élémentaire

$$d\Phi = E(\lambda)d\lambda$$

deviendra après interférence

$$d\Phi = 2E \cos^2(\pi\delta/\lambda) = E[1 + \cos(2\pi\delta/\lambda)]d\lambda.$$

La répartition spectrale énergétique du rayonnement résultant va donc varier avec le cosinus ($2\pi\delta/\lambda$) qui, pour une différence δ donnée, va varier avec λ , fig. 2b. Donc la lumière blanche incidente sera colorée par interférence, pour un δ donné, et cette coloration variera avec δ ; entre autres, si $\delta = 0$, c'est-à-dire si l'épaisseur de la lame est nulle, comme cela se produit avec une bulle de savon qui est sur le point d'éclater, on voit que $d\Phi = 2Ed\lambda$, et on aura affaire avec la couleur de la lumière incidente, c'est-à-dire lumière blanche (ou lumière de la source elle-même). Dans ce cas, on est dans un montage d'interférence à centre blanc.

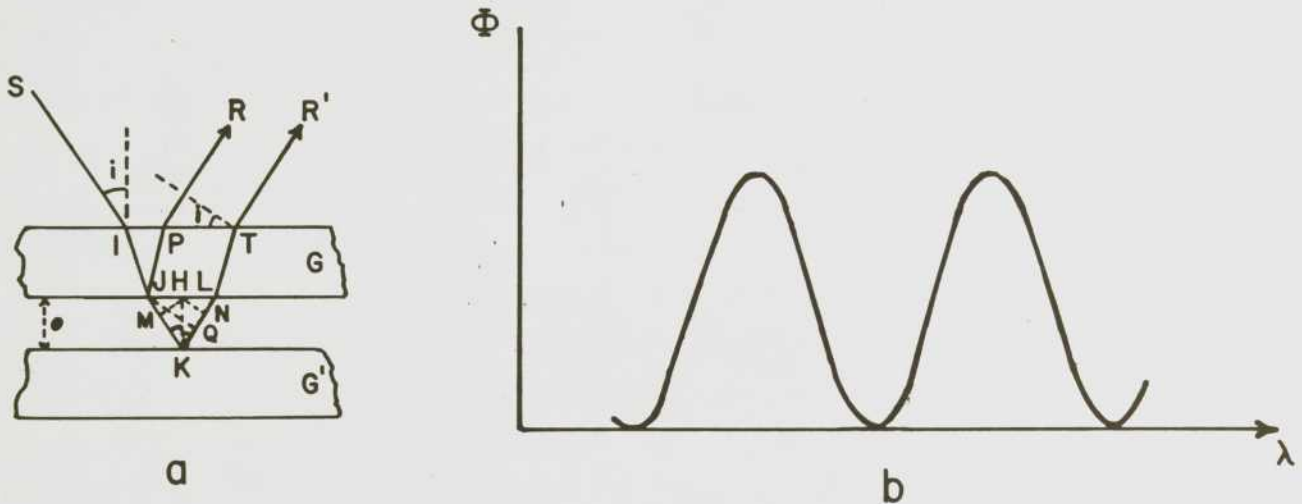


Fig. 2. Interférométrie a Appareil b Répartition spectrale énergétique

Il est possible d'envisager des cas où on a des interférences à centre noir, c'est-à-dire que l'expression du flux élémentaire après interférence sera

$$d\Phi = 2E \sin^2(\pi\delta/\lambda)d\lambda = E[1 - \cos(2\pi\delta/\lambda)]d\lambda.$$

Ces expressions nous permettent de prévoir l'intensité de la radiation monochromatique λ , donc son apport dans le mélange de couleurs monochromatiques duquel va sortir la teinte énumérée dans l'échelle des teintes de Newton.

Cependant, pour établir cette teinte, c'est-à-dire la repérer sur le diagramme chromatique XYZ de la Commission internationale de l'Eclairage (C.I.E.), il faut en établir les coordonnées dans ce système.

Ce système qui a été établi à partir de trois couleurs de base ou primaires: rouge à 7000 Å, vert à 5461 Å et bleu à 4358 Å exige la connaissance de coefficients de distribution \bar{x} , \bar{y} , \bar{z} , qui dépendent des longueurs d'ondes, et qui explicitent l'importance visuelle relative des trois primaires dans la radiation monochromatique λ . Ces valeurs ont été déterminées à partir de mesures d'équivalence et d'additivité chromatiques. On peut alors déterminer les excitations X, Y, Z en effectuant, pour l'ensemble des radiations monochromatiques émises par la source, la somme

$$\begin{aligned} X &= \bar{x}_{\lambda_1} E_{\lambda_1} [1 + \cos(2\pi\delta/\lambda_1)] + \bar{x}_{\lambda_2} E_{\lambda_2} [1 + \cos(2\pi\delta/\lambda_2)] \\ &= \sum_i \bar{x}_{\lambda_i} E_{\lambda_i} [1 + \cos(2\pi\delta/\lambda_i)]. \end{aligned}$$

On fera de même pour Y et pour Z, et on obtiendra de la sorte les excitations pour l'épaisseur des lames.

Afin de pouvoir placer le point correspondant dans le diagramme de chromaticité, il suffit finalement de calculer les coefficients trichromatiques

$$x = X/(X+Y+Z), \quad y = Y/(X+Y+Z), \quad z = Z/(X+Y+Z).$$

Afin de déterminer l'évolution de la teinte avec l'épaisseur, ou avec la différence des trajets optiques δ , on recommencera les calculs pour les différentes valeurs de δ .

Les résultats du calcul avec une source à filament de tungstène sont ainsi présentés sur les deux diagrammes suivants, figs 3 et 4. La courbe extérieure représente le spectre, avec des longueurs d'onde en milli-microns. La spirale représente le lieu des couleurs d'interférence dessiné pour une épaisseur des lames variant de 0 à 6000 Å. On remarquera le déplacement très rapide du point figuratif dans la région des pourpres (teinte sensible).

Ces graphiques, destinés à remplacer les échelles de teintes, peuvent être établis pour toutes les sources lumineuses existantes, et permettent de prévoir les couleurs d'interférence.

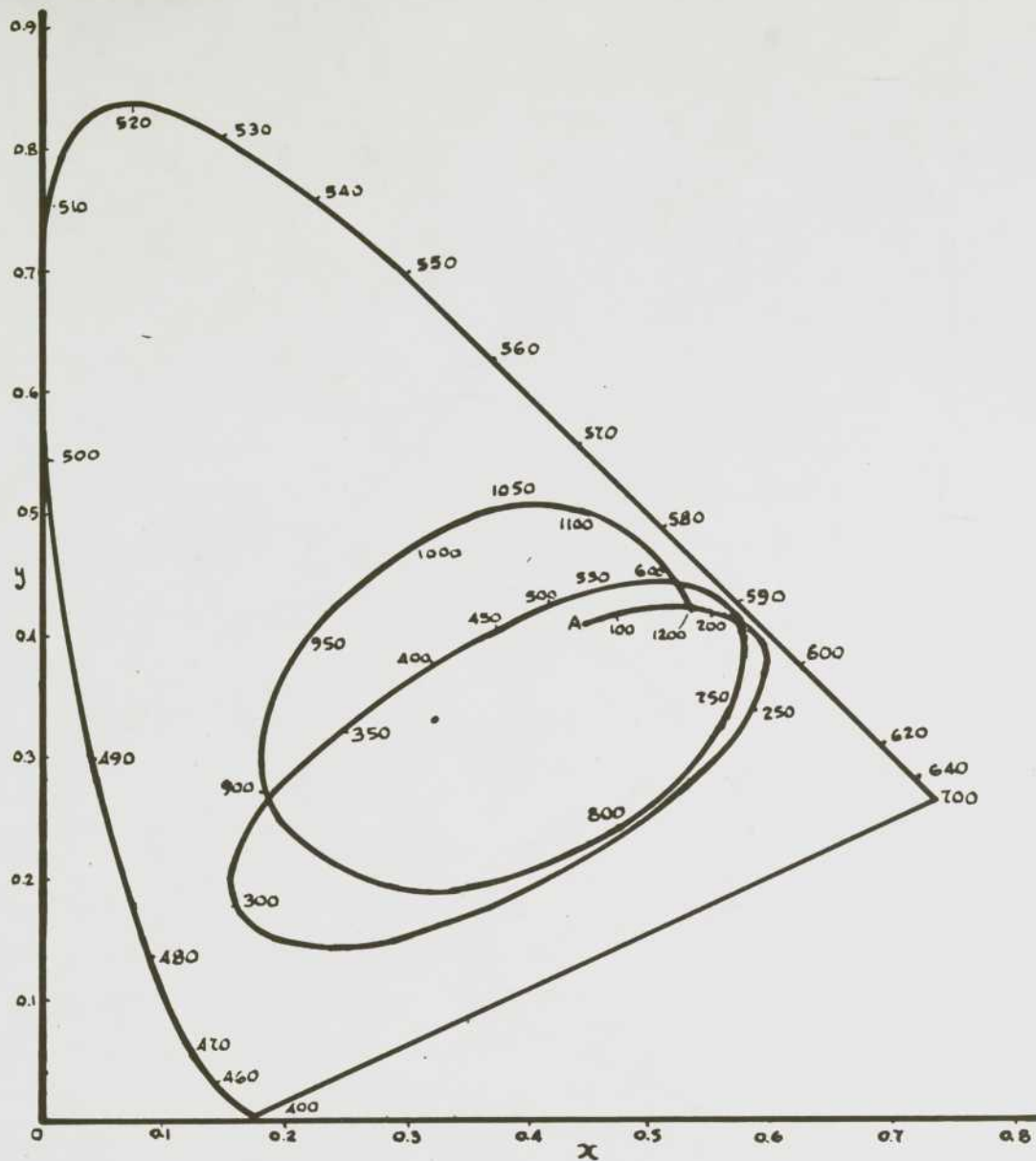


Fig. 3. Evolution de la teinte avec l'épaisseur δ en milli-microns, d'une lame avec la source A, centre blanc. Coordonnées CIE1931

De la même façon, des graphiques peuvent être tracés pour tout phénomène de modulation d'intensité, tel que le phénomène de la photoélasticité, ou modulation par polarisation, les couleurs résultantes étant un indice de l'intensité des efforts dans des structures mécaniques.

Cette attitude rationnelle vis-à-vis des lumières colorées, opposée à l'attitude artistique, apporte donc des résultats qui ne sont pas négligeables, sans altérer leurs qualités poétiques.

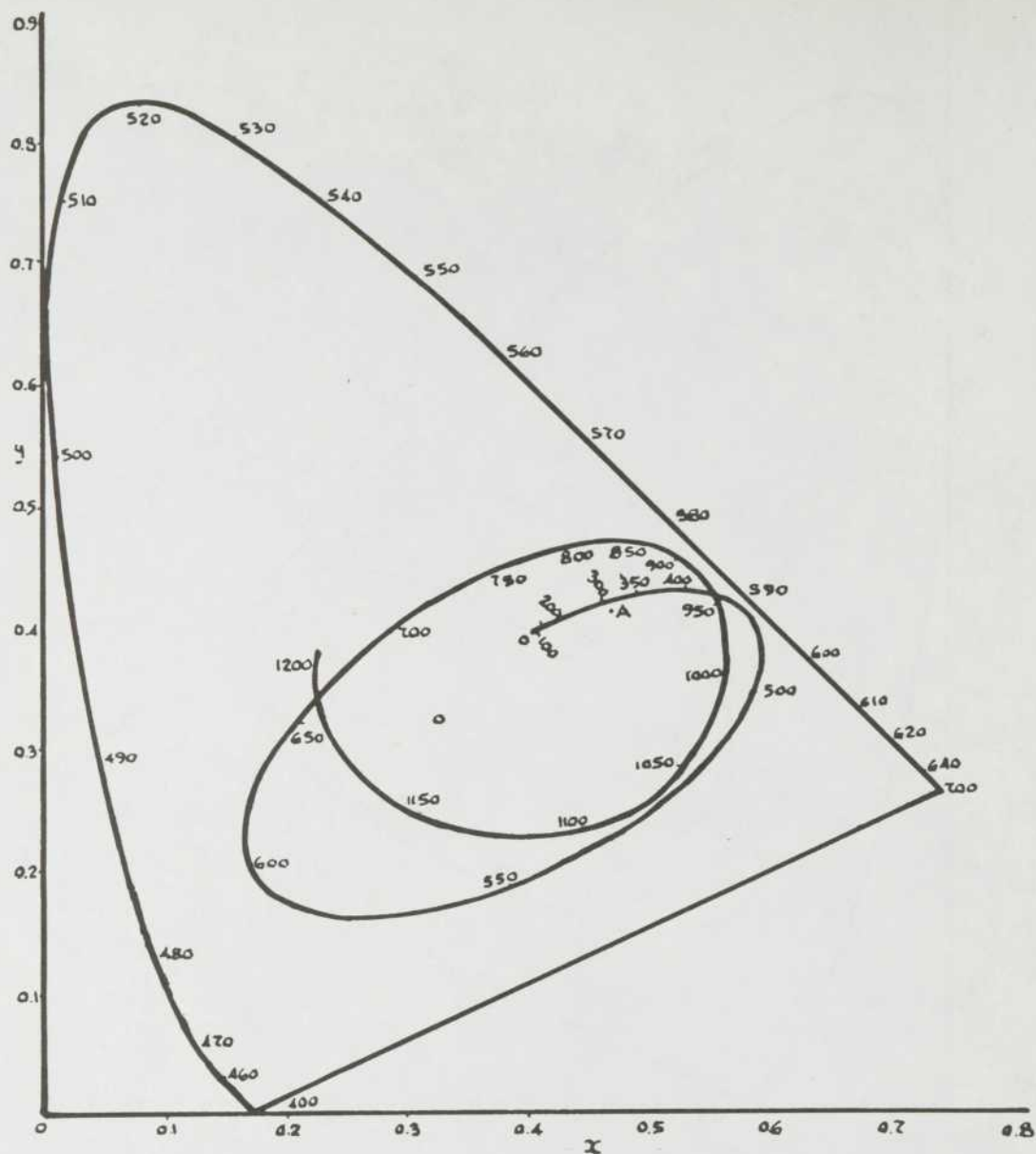


Fig. 4. Evolution de la teinte avec l'épaisseur δ en milli-microns, d'une lame avec la source A, centre noir. (Cas de la réflexion sur une lame de savon).
Coordonnées CIE1931

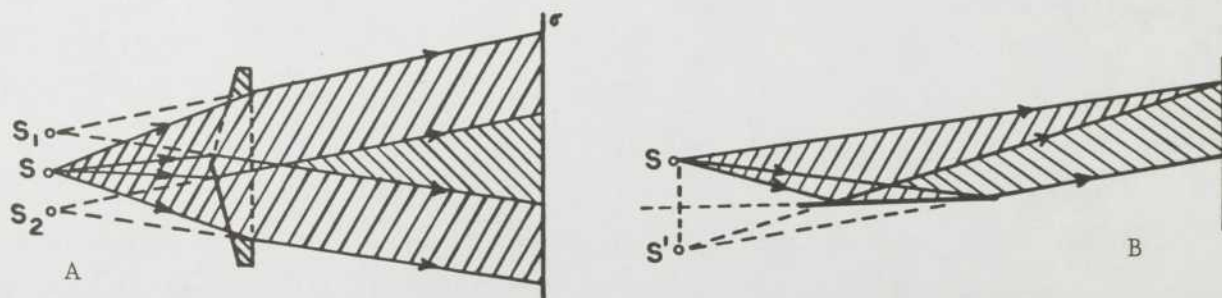


Fig. 5. Dispositifs célèbres d'interférence a Biprisme de Fresnel b Monomiroir de Fresnel ...

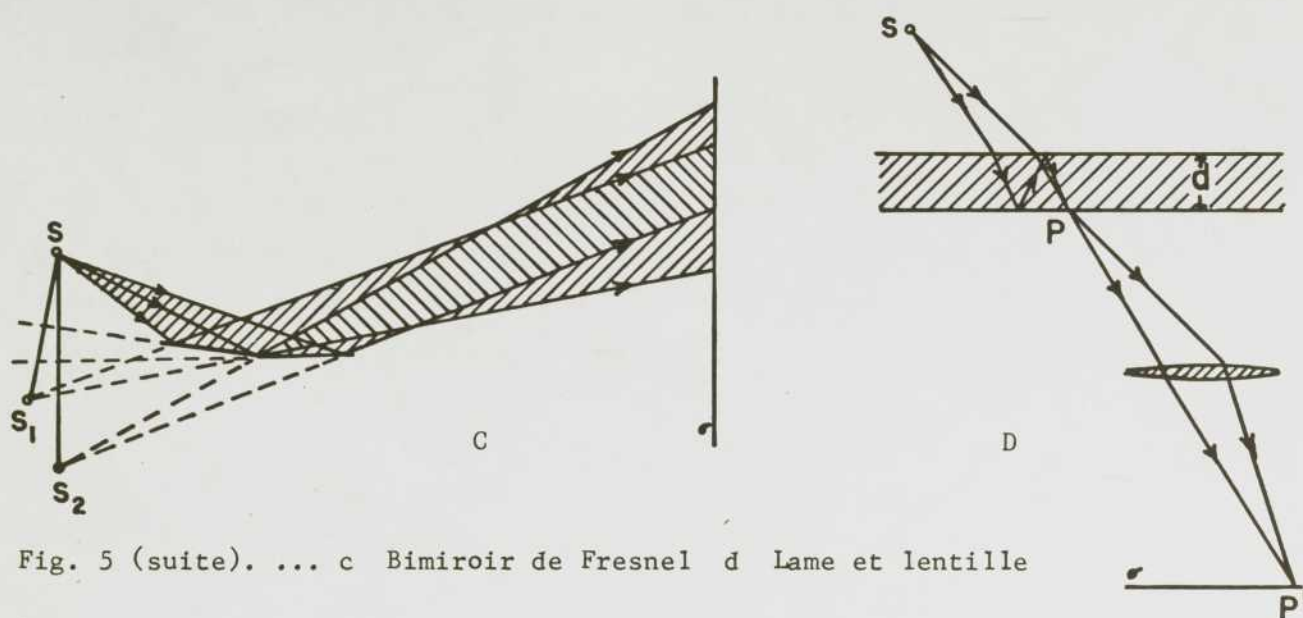


Fig. 5 (suite). ... c Bimiroir de Fresnel d lame et lentille

Références

Hermann Guenther Grassmann 1853, "Zur Theorie der Farbenmischung", Ann. der Physik 89, 69-84. V. Le Grand 1946, 1972, p. 86

Hermann L. von Helmholtz 1866, 1967, "Optique physiologique", extraits choisis et annotés par Yves Le Grand, Desroches, Paris

Yves Le Grand 1942, "Colorimétrie des phénomènes d'interférence", Cahiers de Physique 7, 32-40. 1946, 1972, "Optique physiologique II, Lumières et couleur", R. Opt. Masson

Isaac Newton 1666, v. Le Grand 1946, 1972, p. 34; 1671-72, "New theory about light and colors", Phil. Trans. R. S. London 80, 3075-87. 1704, "Opticks", Smith Walford London

Thomas Young 1801, v. Le Grand 1946, 1972, p. 260; 1802, "On the theory of light and colors", Phil. Trans. R. S. London 92, 20-71. 1807, v. Le Grand 1946, 1972, p. 260; 1845, "A course of lectures on natural philosophy and the mechanical arts", édit. P. Kelland, Taylor Walton, London

Henri Bouasse et G. Carrière 1923, "Interférences", Delagrave Paris

Jean-Berthold Ducharme

Les couleurs

Ayant bien défini les objectifs et les principes de la normalisation (1), nous pouvons maintenant parler de la normalisation des couleurs. Les couleurs peuvent être classées selon les utilisations suivantes: 1. identification, 2. signalisation, 3. sécurité.

De plus en plus, les codes de couleurs s'internationalisent, les plus connus sont les couleurs de signalisation et de sécurité, ces couleurs sont les plus internationalisées.

Le rouge signifie un arrêt ou un danger tandis que le vert donne droit de passage ou de sécurité.

Mais ce ne sont pas tous les rouges et tous les verts qui sont utilisés à ces fins, ils doivent être bien définis.

Les couleurs d'identification sont encore les plus régionalisées. Le bleu pour les autos des policiers municipaux au Québec, le vert pâle pour les autos des policiers à Toronto. Le rouge marron pour les véhicules du Ministère du Tourisme, de la Chasse et de la Pêche du Québec, le bleu du drapeau du Québec sont des couleurs d'identification du Gouvernement du Québec.

Ces couleurs sont définies dans des normes préparées par le Bureau de Normalisation du Québec (BNQ). Il n'y a pas que les organismes gouvernementaux qui utilisent des couleurs d'identification. L'entreprise privée dans sa publicité est des plus exigeantes pour les couleurs qui l'identifient.

Pour bien définir les couleurs, nous avons recours à la colorimétrie qui établit les coefficients et les coordonnées trichromatiques d'une couleur.

(1) Voir La normalisation des couleurs I, Jean-Berthold Ducharme 1978, B.N.Q., Ministère de l'Industrie et du Commerce, et C.Q.C., 9 pp.

Puisque la reproduction exacte des couleurs est très onéreuse, nous ajoutons des tolérances acceptables autant pour les utilisateurs que pour les fabricants. Ces tolérances peuvent être exprimées en unités McAdams, Nbs ou autres.

Quelques normes sur la couleur du BNQ (CIE 1931)

- BNQ 9901-901 "bleu Québec" 6 III 1973: Y15,37, x0,17302, y0,21749, ± 2 (± 5)
 ± 2 (± 5) McAdams
- BNQ 9901-902 "bleu police municipale" 31 I 1974: Y10,83, x0,18569, y0,20037,
 ± 2 McAdams
- BNQ 9901-903 "blanc VPM" véhicules police municipale 8 II 1974: Y85,34,
x0,30702, y0,31876, ± 2 McAdams
- BNQ 9901-904 "marron métallisé" Tourisme, Chasse et Pêche, 1 II 1974
- BNQ 9901-905 "jaune pour véhicules prioritaires" ambulances, etc, 27 XI 1974
- BNQ 9901-906 "orangé fluorescent" sécurité, vêtements, panneaux, etc, 9 IX 1976
- BNQ 9901-907 "jaune sécurité", 25 VIII 1977
- BNQ 9901-950 bleu primaire "Etoile de Vie", 30 IX 1976

COULEUR ET PEINTURES

Ivan Kirouac

Introduction

Si notre corps est doté du sens de la vue, c'est d'abord à titre d'instrument. Notre vue nous permet, en effet de reconnaître les formes, d'apprécier les distances, de percevoir le mouvement, de distinguer même les couleurs et leurs nuances. Mais l'homme n'a pas qu'un corps: il a une âme et est doté d'intelligence. Il peut créer des formes, comme il peut utiliser la couleur pour ses besoins ou simplement pour son plaisir.

Lorsque l'on remonte le cours de l'histoire, on se rend compte que le nombre de matières colorantes fut au début assez limité. L'homme n'avait alors d'accessibles que les seules matières naturelles. Ainsi, on se servait de terres colorées (ocres jaunes et rouges d'argile), de minéraux (malachite, azurite), d'extraits végétaux (garance, safran), ou de matières animales (sang de boeuf, cochenille, murex). Grâce à la chimie et aux nombreux produits de synthèse, le nombre de matières colorantes, pigments ou teintures, s'est accru de façon extraordinaire: la couleur nous a envahis. Graduellement, l'homme a apprivoisé la couleur et l'on peut dire que nous pouvons maintenant mieux la maîtriser et la mettre à notre service. Notre manière d'utiliser la couleur n'est-elle pas une façon d'exprimer notre personnalité et notre mode de vie?

L'artiste et le décorateur

Avant d'aborder le sujet des couleurs en peintures commerciales, il convient de bien distinguer ce qu'est la couleur pour un artiste et ce qu'elle est pour le décorateur. Alors que l'artiste peintre utilise la couleur de façon subjective et comme moyen d'expression, le décorateur, lui, comme le designer, se sert de la couleur de façon plus objective, dans le but de modifier la qualité de notre environnement. L'un et l'autre poursuivent des buts différents et les atteignent par des moyens différents. C'est pourquoi il importe avant tout, dans le cadre de notre sujet, de distinguer

entre couleurs pour artistes et couleurs pour des peintures commerciales ou industrielles. On comprendra que la fixité des couleurs préoccupe l'artiste (Raymond 1977, 1978), mais qu'il n'a pas, ou peu, à se soucier de savoir si ses couches de peinture auront à subir l'agressivité de l'environnement. Qui plus est, l'artiste procède ordinairement lui-même à ses propres mélanges de couleurs et il les applique par juxtaposition ou superposition, tandis que le décorateur voudra avoir à sa disposition un vaste éventail de teintes et de nuances parmi lesquelles il pourra fixer son choix.

Peintures commerciales

De nos jours, on désigne plus volontiers les peintures commerciales comme étant des enduits protecteurs et décoratifs, afin de bien souligner leur double rôle. Ainsi, l'aspect protection est des plus importants, puisque les peintures modernes doivent résister aux intempéries et aux agents agressifs de l'atmosphère, aux frottements, aux lavages répétés et à diverses autres contraintes auxquelles elles sont soumises. Autrement dit, elles sont à la fois décoratives et fonctionnelles. Le fabricant de peintures doit en conséquence offrir des peintures durables et résistantes, non seulement en une grande variété de finis, mais également dans une gamme de teintes très étendue, afin de satisfaire une clientèle devenue plus exigeante en matière de couleurs. La peinture est incontestablement la façon la plus facile et la moins dispendieuse d'appliquer la couleur de son choix à presque toutes les surfaces à décorer.

Systèmes de couleurs

On imagine facilement l'importance du stock que le marchand de couleurs devrait garder en magasin s'il désirait offrir la variété de genres de peintures pouvant satisfaire tous les besoins, et ce dans une gamme de plusieurs centaines de couleurs. Les systèmes de couleurs de peinture permettent toutes ces possibilités à l'aide de quelques éléments, soit des bases de peintures et des colorants; le marchand de peinture peut alors offrir n'importe quelle couleur dans le genre de peinture désirée, sans avoir à stocker un assortiment de couleurs déjà préparées.

On entend par bases, des peintures destinées à recevoir les colorants. Les bases destinées à préparer les nuances foncées ne sont pas mises en boîte à pleine mesure, afin de réserver un espace pour les colorants.

Les colorants sont des dispersions de pigments dans un liant spécial, préparés de façon à ce qu'ils puissent être mélangés aussi bien à des peintures diluables à l'eau ou latex, qu'à des peintures aux solvants organiques. D'où leur appellation de colorants universels. Malgré une certaine ressemblance avec les couleurs pour artistes, ces colorants ne doivent pas être utilisés tels quels, mais uniquement pour teinter les bases de peinture. Ils sont en effet dépourvus de liant et ne sèchent pas en un feuil solide. Pour réaliser des colorants valables dans un système de couleurs de peinture, on doit faire un choix très judicieux des pigments. Les colorants doivent réunir les qualités suivantes: stabilité, fixité des teintes, même lorsque dégradés, fort pouvoir colorant, possibilité de produire le plus grand nombre possible de teintes et de nuances par mélanges simples. On recherchera donc des pigments de qualité exceptionnelle pour la vivacité de leur teinte, qui possèdent un fort pouvoir colorant, qui résistent aux alcalis et qui ne soient pas trop toxiques. Bien entendu, les pigments choisis doivent être facilement disponibles et ce à un coût raisonnable.

Les pigments organiques comprennent le bleu et le vert phtalocyanine, le jaune, le rouge, le violet et l'orangé, donc six teintes fondamentales ou primaires et secondaires. Elles permettraient de réaliser une gamme très étendue de couleurs mais pour des motifs d'économie aussi bien que de simplicité des mélanges, nous préférons avoir recours aux pigments inorganiques pour atténuer les teintes vives ou pour obtenir des tons neutres. Connus des artistes comme ocre jaune, rouge vénitien, terre d'ombre et terre de Sienne, les pigments inorganiques utilisés ici seront de nature synthétique, donc plus purs, plus forts et surtout de qualité constante. Tous les systèmes que l'on trouve sur le marché ne sont pas identiques parce que les colorants et les pigments utilisés sont différents les uns des autres, de même que les bases de peinture. De façon générale, ils reposent sur l'emploi d'une douzaine de colorants différents, rarement plus, parfois moins.

La reproduction fidèle des teintes illustrées dans les répertoires de couleurs des systèmes se fait à partir de dosages précis à l'aide de fontaines à colorants (fig. 1) et selon des recettes de coloration fournies par le fabricant

de peinture. La formule de coloration pour chacune des couleurs s'écrit à l'aide de lettres et de chiffres.

Etant donné qu'il serait trop long en même temps qu'inutile d'identifier chaque colorant par la nature des pigments utilisés, on attribue à chacun une lettre distinctive. Les chiffres correspondent au volume de colorant à mesurer. L'échelle sur le piston de la fontaine est graduée en diverses fractions d'onces. En plaçant le repère dans l'encoche qui correspond au chiffre de la formule, on mesure avec exactitude le volume de colorant requis.

Si nous avons tant insisté sur les bases et les colorants, c'est qu'ils sont les constituants essentiels des systèmes de couleurs. En ce qui concerne l'usager, ce sont les diverses teintes du système qui l'intéressent avant tout.

Lorsque les premiers systèmes apparurent sur le marché, ils présentaient un très grand nombre de nuances, sans doute pour exploiter au maximum toutes les possibilités des colorants. En conséquence, ils étaient parfois complexes, sans compter le fait qu'il était difficile d'arrêter son choix sur une nuance donnée. Aujourd'hui, le nombre de couleurs se situe ordinairement aux environs de mille. Cela permet des écarts visuels suffisants pour éviter toute confusion, tout en couvrant la gamme complète des couleurs en demande.

On cherche souvent une analogie entre ces systèmes de couleurs de peinture, tel le COLORAMA 2000 de Sico et des systèmes comme celui de Munsell.

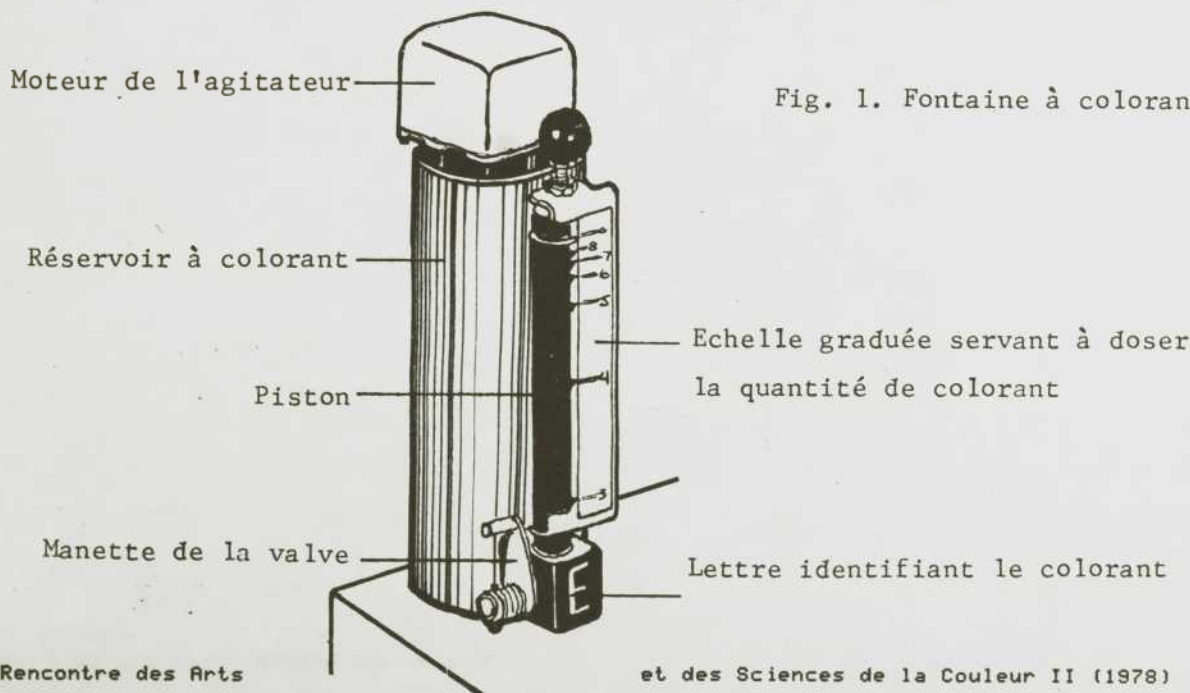


Fig. 1. Fontaine à colorants

Les atlas de couleurs permettent de classifier les couleurs et de les identifier. Ils servent, en outre, de moyen de communication et sont utiles dans l'enseignement de la couleur. Si les divers systèmes de peinture présentent entre eux une certaine analogie, c'est en raison de leur façon d'ordonner les teintes selon le spectre et selon des gammes de tonalité, de manière à en faciliter le repérage. Les catalogues de couleurs du commerce, ou présentoirs, sont avant tout des outils de vente qui servent à présenter les teintes qu'un fabricant offre à sa clientèle. Ils s'avèrent néanmoins être des outils fort pratiques pour les décorateurs, les architectes et les consultants en couleurs, d'une part en raison de leur disponibilité, d'autre part parce qu'ils illustrent des teintes réalisables en peintures.

Références

Maurice Raymond 1977, "Fixité relative des principales matières picturales", Département d'Arts plastiques, Université du Québec à Montréal, 59 pp.

Maurice Raymond 1978, id., Rencontre A. S. Couleur I, Ann. ACFAS 45 No 3, 91-134; id., Vision No 26, 26-28

Munsell 1976, "Munsell Book of Color, édition 1976 mat ou lustré, disponible chez Macbeth, division de Kollmorgen Corporation, Little Britain Road, Drawer 950, Newburgh, N.Y. 12550. En France: Luneau S.A., BP 252, Chartres Cedex.

LES TEINTURES NATURELLES AU QUEBEC

Paulette-Marie Sauvé

Introduction

Quand on se promène à la campagne, on ne peut demeurer insensible à la beauté du paysage et tout particulièrement à la splendeur de l'univers coloré qui s'offre aux yeux. Si on se donne la peine de bien regarder autour de soi, on se rend compte que la nature présente la gamme de couleurs la plus féerique qu'on puisse imaginer. On y trouve une variété de tons colorés aux nuances les plus subtiles; à la coloration remarquable par ses doux miroitements s'ajoute la richesse éblouissante de la texture.

Les couleurs que l'on obtenait traditionnellement à partir de substances naturelles avaient l'avantage d'être à la fois nuancées et luxuriantes. D'autre part, ces teintes sont aussi fixes au lavage et à la lumière que les colorants chimiques utilisés aujourd'hui. Comme on se fatigue vite à regarder les tons criards et froids obtenus chimiquement, il est à espérer qu'on retournera, dans la production de lainages, aux couleurs de la nature qui dégagent tant de chaleur et de subtilité. Je souhaite que l'on découvre la joie de cueillir les plantes pour en faire des colorants et goûter en même temps à la sérénité que suscite la douceur des teintures végétales.

Les teintures anciennes

Avant l'invention de la teinture, l'homme ne disposait pratiquement pas de couleurs pour agrémenter ses vêtements. Les fibres végétales et animales n'offraient que le blanc, le gris, le noir et le brun dans différentes tonalités. Son oeil étant attiré par les tons vifs des fleurs et des fruits, il devint inévitable qu'il note l'effet d'un jus tachant accidentellement une étoffe. A partir de là, il tenta l'expérience de tremper un tissu dans une décoction; ensuite, il chercha le moyen de rendre résistante au lavage la couleur obtenue.

Plusieurs tribus anciennes teignaient avec des sables riches en minéraux; il est probable que l'on ait d'abord essayé de faire bouillir l'étoffe dans de l'eau contenant du sable. De même, l'expérimentation avec des plantes montre que les fleurs jaunes - très abondantes dans la nature - peuvent produire un colorant jaune.

Les Phéniciens, les Grecs et les Romains utilisaient la pourpre tyrienne pour agrémenter les parures royales. Cette couleur était extraite des coquilles d'un mollusque qu'on trouvait en Méditerranée, mais l'espèce est rare, de sorte que seules les personnes fortunées pouvaient alors se la procurer. Il en va de même pour le kermès, un insecte que l'on trouve sur les arbres de la Méditerranée et dont on extrait un rouge vif. On utilisait aussi l'alun et l'urine dans ces préparations.

Au Pérou ainsi qu'en Inde et en Asie, les arbres et les fleurs ont vite été utilisés comme sources de substances colorantes pour les teintures. La navigation à ses débuts encouragea l'évolution des recettes grâce à l'échange de plantes et de minéraux. Les explorateurs européens introduisirent en Europe les teintures venant d'autres pays. On en rapporta le cochenille, un insecte vivant sur les cactus en Amérique centrale, avec lequel on produit un rouge brillant. On importa aussi le bois de campêche qui sert à fabriquer la pourpre de l'Amérique du sud. Dès le 17^{ème} siècle, l'Europe entière possédait ses teintureries spécialisées en "secrets d'importation".

Au moyen-âge on trouve dans les ateliers de liciers "un nombre limité de couleurs franches. Traitées au tartre, les laines acquièrent une solidité de tons que plusieurs siècles ont confirmée; une crucifère dite guède ou vouède offrait les bleus; la gaude donnait les jaunes; la garance, les rouges; la décoction de garance broyée, les rouges bruns".

L'écarlate, d'abord fournie par le kermès puis par la cochenille, valut, après son introduction en Europe en 1563, une gloire durable à une dynastie de teinturiers: celle des Gobelins. Les Gobelins laissèrent leur nom à l'enclos où allait être élevée la manufacture (de tapisserie) fondée par

Colbert en 1662. En 1665, le directeur de la teinturerie des Gobelins, un Hollandais, "apporta en France le secret de l'écarlate à l'étain, dite écarlate de Hollande...Des recherches scientifiques multiplièrent les possibilités des teintureries au 18^{ème} siècle...Elles finirent par compter trente mille couleurs réparties en un millier de gammes, chacune de trente-six tons allant de la lumière à l'ombre". Enfin vers le milieu du 19^{ème} siècle, un chimiste du nom de Chevreul soulagea la gamme jusqu'à mille quatre cent vingt tons Weigert 1964.

En Amérique du Nord, les colons tentent bien de faire pousser les plantes tinctoriales européennes; ils finirent par se contenter des plantes indigènes, le coût des importations étant trop élevé. A partir de 1800, de grands noms de la teinture européenne s'établirent aux Etats-Unis et pourvurent à la plupart des besoins du pays. Même après l'invention des teintures au goudron en 1856, les industries textiles continuèrent d'utiliser quelques anciennes teintures. Après la première guerre mondiale, les Etats-Unis, coupés des sources allemandes de teintures chimiques, retournèrent temporairement aux teintures naturelles. Progressivement les colorants chimiques reprirent leur importance à partir de 1918.

Teintures d'aujourd'hui

A Paris, les Gobelins adoptèrent les colorants synthétiques en 1911. Malgré leur succès, on reprit, après 1939, l'utilisation des colorants naturels de grand teint, tels la gaude, la cochenille - utilisée aussi aujourd'hui en cosmétique -, l'indigo, le bois de campêche, le bois de santal - utilisé aujourd'hui pour colorer les médicaments -, et la garance.

Au Canada, les Indiens teignent la laine pour orner leurs couvertures "Chilkat" avec des teintures à base d'écorce de pruche. Cette substance est bouillie dans l'urine ou dans une terre noire pour obtenir le noir; en la mélangeant au lichen Evernia vulpina, ils obtenaient le jaune. Avec du minerai de fer bouilli dans l'urine, ils arrivaient à produire un bleu verdâtre. Le jaune orange, utilisé pour les tapis nattés et les bandeaux de cérémonie, était fabriqué à partir de l'écorce d'aulne. On effectue ces opérations à l'aide de paniers tressés et de boîtes en bois bien étanches.

Dans l'est du Canada, autour des Grands lacs, l'usage des plantes médicinales influença les recherches en teinture. Toutefois, on ne connaissait pas d'autres mordants que le jus de pomme sauvage. Avec l'arrivée des Blancs, les Indiens s'initierent à l'usage de l'alun et de récipients en cuivre.

D'autres recettes indiennes impliquent l'utilisation de plantes. Le rouge était extrait des racines de la sanguinaire, le jaune, de celles du gaillet. Le phytolaque donnait un autre rouge tandis que le vinaigrier produisait un beige et un brun roux. On utilisait la dorine (en anglais: gold-seal) et la coptide (Frère Marie-Victorin gold thread, Coptis Groenlandica ou Coptide du Groënland) pour le jaune, le noyer pour le noir, la douce-amère pour l'orange, et la langue de vipère pour le vert, les raisins d'ours et le pied d'alouette pour le bleu.

Leur préparation était simple: elle consistait à faire bouillir la plante dans de l'eau et ensuite à faire bouillir le matériel à teindre dans la même eau. Après avoir laissé refroidir le tout, on rinçait pour enlever l'excès de teinture. En répétant l'opération, la couleur se fixait davantage. Plusieurs couleurs disparaissaient, d'autres duraient des années. Les mordants ont probablement été découverts avec l'arrivée des chaudières en cuivre, en étain ou en fer ainsi que grâce à l'utilisation de l'eau de puits, de lac ou de pluie, chacune de ces eaux donnant des résultats différents avec la même teinture. Aujourd'hui, il est plus pratique de faire le mordantage au moyen de sels métalliques et de récipients en émail.

L'histoire de la teinture végétale au Québec est racontée dans deux ouvrages: celui d'Oscar Bériau "La teinture domestique", contient malheureusement plusieurs erreurs et la plupart de ses recettes nécessitent l'usage de plantes importées; de plus, il présente une classification peu pratique. L'ouvrage de soeur Marie-Alphonse d'Avila "Teintures végétales, extraits des plantes de chez-nous", est plus pratique et même quelques livres américains de teinture ont emprunté ses recettes mot à mot. Cet ouvrage a donc servi à plus d'un pays. (Les deux ouvrages sont maintenant épuisés).

Vous connaissez probablement des gens qui se rappellent l'époque où leur grand' mère trempait les rideaux en dentelle dans une infusion de thé pour leur donner une teinte de beige-crème. Toutes ces recettes traditionnelles, en plus d'une centaine de recettes venant des autres pays, sont disponibles dans le livre intitulé "La Teinture naturelle au Québec", de Paulette-Marie Sauvé.

Références

- Oscar Bériau 1932, "La Teinture domestique", Ministère de l'Agriculture
Marie-Alphonse d'Avila 1941, "Teintures végétales, extraits des plantes de chez-nous", Presses de l'Institut des Sourds-muets, Montréal
Marie-Victorin 1935, 1964, "Flore Laurentienne", F.E.C. P. U. de M.
Paulette-Marie Sauvé 1977, "La Teinture naturelle au Québec", Editions de l'Aurore, Montréal (2^{ème} édition 1978)
R. A. Weigert 1964, "La tapisserie et le tapis en France", Presses universitaires de France



USAGE DU CHROMOMÈTRE
POUR LE DEPISTAGE ET L'IDENTIFICATION
DES DYSCHROMATOPSIES

Ben V. Graham et Pierre Demers

Avertissement

Voici quelques observations de caractère préliminaire, d'intérêt physique et physiologique, destinées à signaler que le CHROMOMÈTRE pourrait rendre des services pour dépister et identifier certaines dyschromatopsies, spécialement celles des dichromates, après mise au point et essais cliniques. Pour une description du CHROMOMÈTRE, voir CQC 1977, Dumais-Bouillon 1978 et Demers 1976, 1978.

Montage

Une hotte blanchie, éclairée par un tube lumière du jour, et un CHROMOMÈTRE permettent de reconnaître si le sujet est capable d'équilibrer le blanc avec un mélange binaire de 2 primaires RB, BV ou VR. Dans ce cas, on mesure les proportions des 2 primaires dans les conditions de l'équilibre. (Fig. 1).

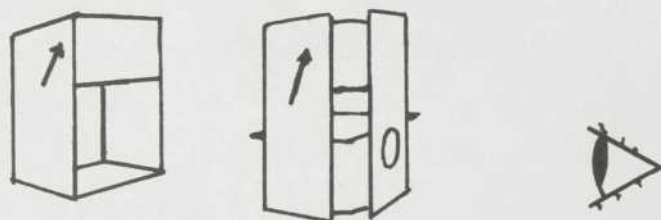


Fig. 1. Montage hotte et CHROMOMÈTRE. Moyennant le réglage en intensité, un dichromate ou un trichromate anormal équilibre le blanc avec un mélange binaire brillamment coloré

Observations

3 sujets masculins, d'âges compris entre 18 et 25 ans, ont obligeamment collaboré, répondant à une annonce parue dans FORUM 1978. Voici les résultats expérimentaux. (Tableau I). Les valeurs λ proviennent de l'expérience avec un spectroscope à prisme remplaçant le CHROMOMÈTRE.

Tableau I. Equilibre avec le blanc (0,32, 0,34) CIE1931

Sujet	Rouge et bleu	Bleu et vert	Vert et rouge	λ μ
P.B.	42,5R 57,5B	55,0B 45,0V	non	509
J.D.	30,0R 70,0B	60,0B 40,0V	non	504
D.L.	40,0R 60,0B	67,5B 32,5V	non	491

Discussion

Ces quelques mesures suffisent déjà pour mettre en évidence ce phénomène étonnant pour un trichromate normal: un trichromate anormal ou un dichromate confond et équilibre un blanc avec un mélange binaire qui n'est pas blanc. Dans les cas actuels, il s'agit d'un certain cyan mélange de bleu et de vert, et surtout d'un certain pourpre mélange de bleu et de rouge. La mise en évidence de la dyschromatopsie est ici à la fois simple et frappante. Les 3 sujets sont probablement soit des deutéranomaux soit des deutéranopes. Il paraît d'ailleurs évident qu'ils sont tous deutéranopes, puisqu'il existe dans le spectre une longueur d'onde qu'ils confondent avec le blanc neutre. On sait que les 3 catégories de trichromates anormaux ont des régions de confusion avec le blanc, qui sont très semblables expérimentalement aux droites de confusion des catégories correspondantes de dichromates. (Fig. 2). Voir Le Grand 1956, 1972, Cruz-Coke 1970.

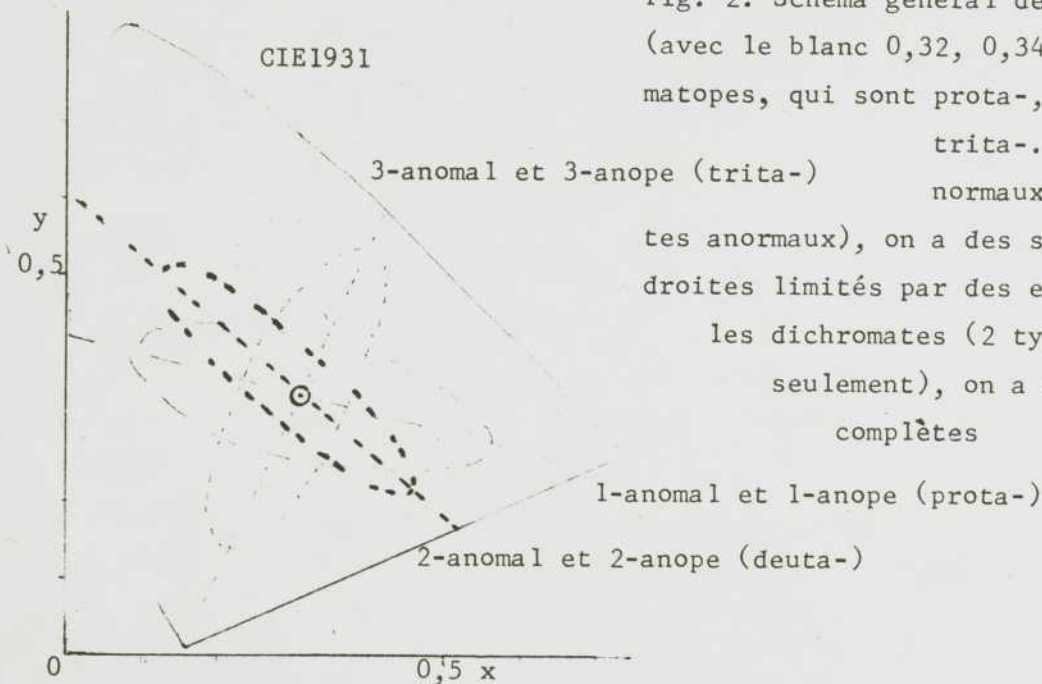


Fig. 2. Schéma général des confusions (avec le blanc 0,32, 0,34) des dyschromatopes, qui sont prota-, deuta- ou trita-. Pour les anormaux (trichromates anormaux), on a des segments de droites limités par des ellipses. Pour les dichromates (2 types de cônes seulement), on a des droites complètes

Nos observations expérimentales sont représentées figure 3 sur un diagramme en coordonnées x, y CIE1931 portant un étalonnage du CHROMOMETRE. Les écarts entre les points expérimentaux et une droite pour les deutéranopes, peuvent s'interpréter par l'intervention de la Macula lutea (voir Halsey et Chapanis 1952). La Macula lutea est différente selon les sujets, de plus elle agit différemment sur les primaires d'une part et sur les 2 autres lumières d'autre part. Le Tableau II présente les prévisions approximatives pour les 3 catégories de dyschromatopsies. Il est trop tôt pour dire comment la présente méthode se prêterait à discerner entre trichromates anormaux et dichromates.

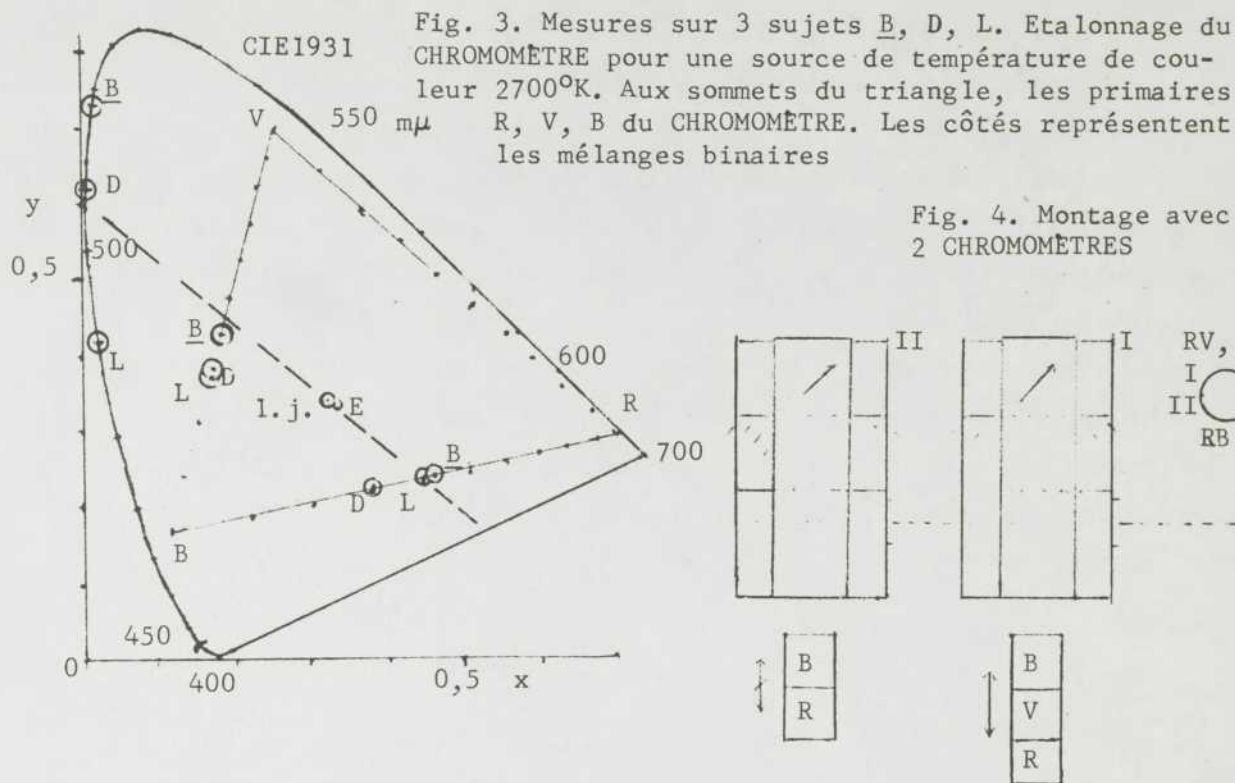


Fig. 4. Montage avec 2 CHROMOMÈTRES

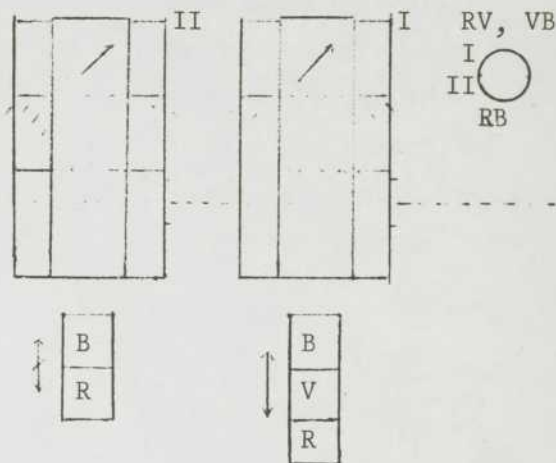


Tableau II. Prévisions approximatives

Mélanges binaires équilibrant le blanc lumière du jour (0,32, 0,34)

Dyschromatopsie	Rouge et bleu		Bleu et vert		Vert et rouge	
Protanope	80 R	20 B	70 B	30 V	non	
Deutéranope	35 R	65 B	60 B	40 V	non	
Tritanope	13 R	87 B	non		75 V	25 R

Conclusion

Le dépistage est évidemment possible, quant à l'identification de la catégorie, il faut attendre plus ample expérimentation. On peut songer à un montage avec 2 CHROMOMÈTRES (fig. 4), où on fixerait une proportion RB dans II; le sujet choisirait la formule VB ou VR dans I.

Remerciements

Nous remercions les 3 sujets qui ont bien voulu se prêter à l'expérimentation, et la revue FORUM pour la publication d'une annonce.

Références

- C.Q.C. 1977, "Le Centre québécois de la Couleur (CQC): Deuxième anniversaire .. Avril 1975 Avril 1977", Vision No 24, 10-15, Montréal
- Ricardo Cruz-Coke 1970, "Color blindness", Thomas, Springfield Ill.
- Pierre Demers 1977, "Le CHROMOMÈTRE, instrument éducatif nouveau destiné à l'enseignement de la couleur", Ann. ACFAS 44 No 1, 142. 1977, "CHROMOMETRIE, apprentissage de la couleur", 153 pp., Dép. de Phys. Un. de M. et C.Q.C.
- Lise Dumais-Bouillon 1978, "Couleur et matériel didactique", Renc. A.S. Couleur II, Ann ACFAS 45 No 4, 100-1
- FORUM 1978, "Daltoniens demandés", Un. de M. 13 février
- Rita M. Halsey et A. Chapanis 1952, "An experimental determination of some isochromaticity lines in color deficient vision", J.O.S.A. 42, 722-739
- Yves Le Grand 1956, 1972, "Optique physiologique", Tome II, "Lumière et couleur", Rev. Opt. et Masson. Chap. XV par François Parra, "Anomalies de la vision colorée"

UNE ECHELLE SPIRALEE
POUR LES HAUTEURS MUSICALES

Pierre Demers

Le but de cet article est de présenter aux musiciens et aux physiologistes une échelle et un diagramme représentant les hauteurs musicales, qui pourrait présenter un intérêt théorique, à cause des ressemblances avec les échelles et les diagrammes concernant la perception colorée.

Le cercle de l'octave

Une circonférence porte 12 points équidistants, désignant les 12 notes de la gamme diatonique. Un son musical arbitraire se trouve repéré par l'un de ces points en hauteur absolue ou en fréquence, sauf un facteur puissance de 2 (... , 1/4, 1/2, 2, 4, ...). C'est le cercle bien connu des hauteurs absolues. (Fig.1).

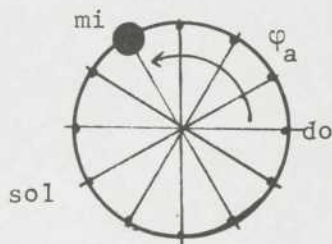


Fig. 1. Cercle des hauteurs absolues (sauf un facteur puissance de 2). Pour le mi figuré, $\varphi_a = 120^\circ$

La hauteur absolue revient à l'angle φ_a . Convenons en outre de l'une de ces 12 notes comme tonique. La hauteur relative se lit par l'angle compris φ . Par exemple, mi est à fa dièse comme la est à do. (Fig.2).

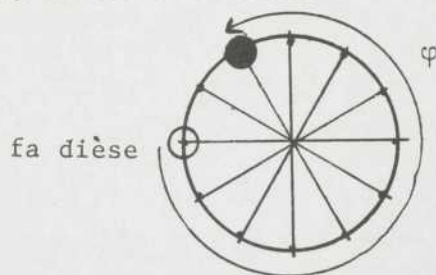


Fig. 2. Cercle des hauteurs relatives. Tonique fa dièse, $\varphi = 300^\circ$

En faisant tourner la figure 2, nous plaçons la tonique en position de lecture plus commode. (Fig. 3).

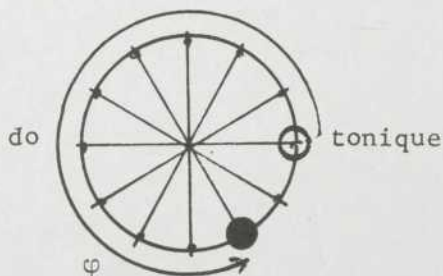


Fig. 3. Comme fig. 2, tonique en position commode: horizontalement à droite

2 hauteurs musicales

Nous reconnaissons 2 hauteurs en musique: la hauteur ou la fréquence absolue, et la hauteur relative une fois la tonique choisie. Or il y a un moyen de représenter par un point unique, ces 2 hauteurs, dans un diagramme à 2 dimensions. Pour faire cela, Drobisch 1865 a développé le cercle en hauteur et a tracé une hélice sur un cylindre. (Fig. 4).

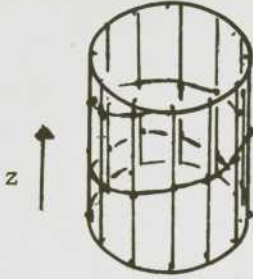


Fig. 4. Hélice de Drobisch.

z hauteur absolue

Nous proposons ici un autre procédé graphique, c'est de développer le cercle radialement, le résultat est une spirale des hauteurs sur un plan.

La spirale des hauteurs

Une spirale se prête à représenter un son arbitraire avec ses 2 hauteurs. La distance à l'origine est la hauteur absolue, l'angle φ_a est inutile. L'angle φ est la hauteur relative, la tonique est en position commode, il y a les 12 angles φ de la gamme diatonique. Si on change de tonique, on tourne la spirale. (Fig. 5).



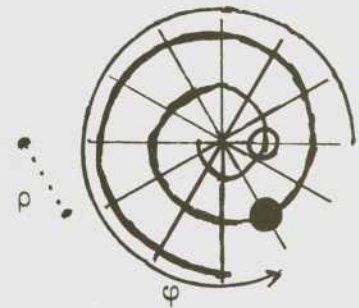
Fig. 5.

Spirale des hauteurs.

On tourne la spirale.

ρ hauteur absolue

φ hauteur relative



Le cylindre spiralé

Le diagramme en spirale n'occupe qu'un plan, il reste la dimension verticale, qui peut servir, par exemple, à représenter l'intensité du son examiné. On a par exemple, une surface cylindrique non circulaire, appuyée sur la spirale. (Fig. 6). Un point de cette surface représente 3 caractères d'un son.

hauteur absolue	}	qualités fréquentielles
hauteur relative		
intensité		

Nous appellerons qualités fréquentielles les 2 hauteurs.

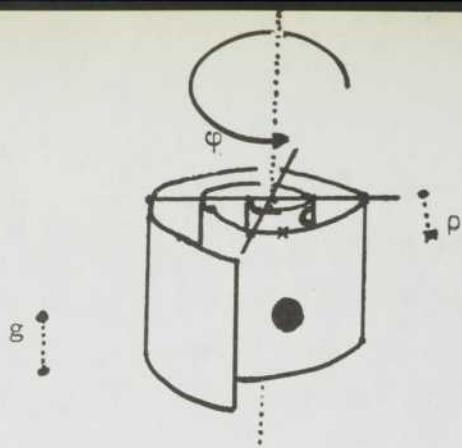


Fig. 6. Cylindre spiralé des sons musicaux. ρ hauteur absolue
 φ hauteur relative
 g intensité

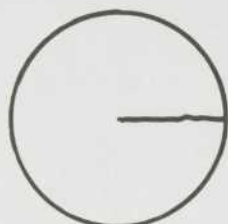


Fig. 7. Confection d'un cornet spiralé à partir d'un disque échanuré

Le cornet spiralé

On peut faire mieux ou autrement. C'est de former une surface réglée par une génératrice d'origine fixe s'appuyant sur la spirale plane. La construction se ré-
 facilement à partir d'une feuille de papier échanrée. (Fig. 7). Le plan de la spirale sera par exemple une surface d'égale intensité, de même pour les autres plans parallèles à celui-là. (Fig. 8). L'origine est l'intensité nulle, et la hauteur absolue est l'angle d'ouverture θ , le rayon ρ vaut $gtg\theta$, l'axe est OG.

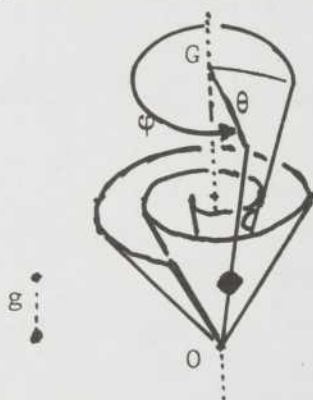


Fig. 8. Cornet spiralé
 θ hauteur absolue
 φ hauteur relative
 g intensité

Pour la forme de la spirale, on peut convenir de diverses façons. Les notes graves au centre et les notes aiguës en périphérie, ou vice versa. On peut placer les notes aiguës au centre, en laissant un espace pour les ultra-sons, et les notes graves en périphérie, en laissant l'espace extérieur pour les infra-sons. De toute façon, il faut 10,26 tours, pour loger les 10,26 octaves audibles entre 16 Hz et 20000 Hz. (Fig. 9).

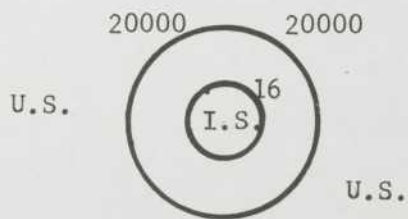
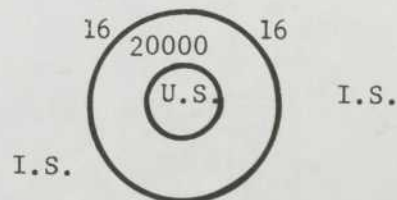


Fig. 9. Valeurs extrêmes de θ . Entre les extrêmes, 10,26 tours de la spirale



Une équation satisfaisante est la suivante (notes aigües au centre),

$$\rho = \rho_{16}(1 - k \log_2 f / 16) = \rho_{16}(1 + k \log_2 16 - k \log_2 f),$$

f est la fréquence en Hz. Pour réserver l'espace central, il faut avoir

$$k < 0,097.$$

Le pas de la spirale est $k\rho_{16}$, ρ_{16} est le rayon pour 16 Hz. (Figs 10, 11).

Fig. 10. Spirale dans un plan d'intensité constante. ρ_{16} vaut 26 mm, le pas vaut 2 mm par octave, k vaut $1/13$

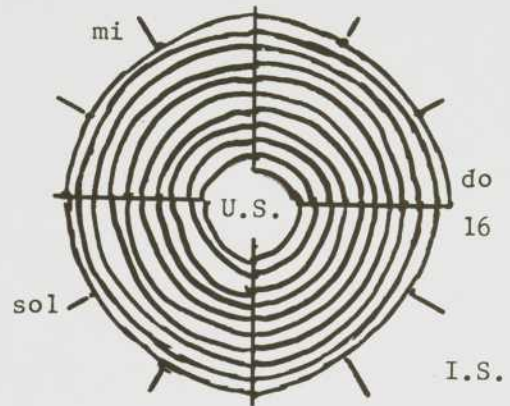
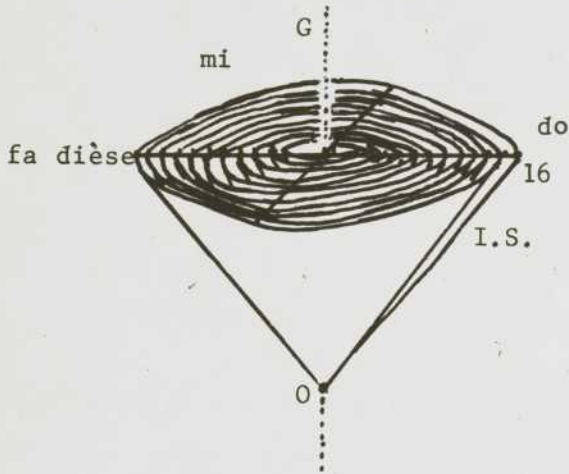


Fig. 11. Le cornet spiralé avec ses 10,26 tours. Si la tonique n'est pas do, on le tourne autour de OG pour amener la tonique en position d'origine des φ

Parallèle son-couleur

Le plan des qualités fréquentielles répond au plan des qualités colorées. Sur ce plan, on peut tracer un triangle des fréquences, analogue au triangle de Maxwell, et écrire des lettres R, V et B selon les directions do, mi et sol dièse. (Fig. 12). Il existe un volume, occupé par les qualités fréquentielles

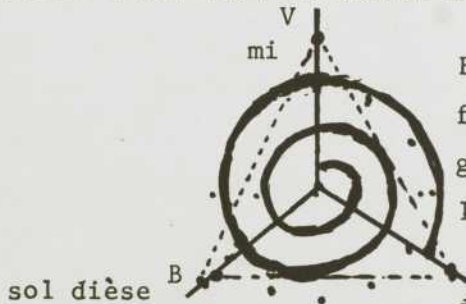
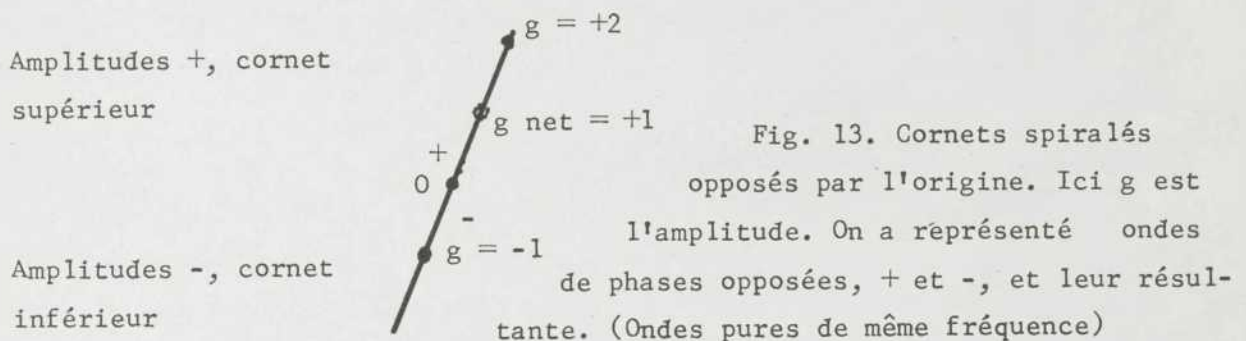


Fig. 12. Plan des qualités fréquentielles et triangle des fréquences. Voir les spirales correspondant à l'échelle des do teintes Saint-Dizier 1978

associées à l'intensité, qui sert à décrire un son musical dans certains de ses

caractères essentiels, aussi bien qu'il existe un volume occupé par la représentation des lumières avec leurs qualités colorées et leurs intensités. L'analogie se poursuit avec la représentation des amplitudes des 2 signes et les phénomènes d'interférence sonore, qui existent aussi bien que les phénomènes d'interférence des ondes lumineuses. En effet, on peut tirer parti du prolongement de l'axe OG vers le bas, pour tracer un cornet opposé à celui décrit ci-dessus, et symétrique de celui-ci par rapport à l'origine. Les cotes g positives signifient des ondes de phase directe ou $+$, par rapport aux ondes de phase opposée ou déphasées de π par rapport aux précédentes, ou de signe $-$, qui apparaissent aux cotes négatives. Des ondes $+$ et $+$ ou $-$ et $-$ additionnent leurs amplitudes, des ondes $+$ et $-$ ou $-$ et $+$ se soustraient l'une de l'autre. (Fig. 13). Demers 1976, 1978.1.2.



Conclusion

Voilà donc une tentative de rapprocher, sur une base physique, mathématique et physiologique, la perception acoustique et musicale, de la perception colorée. Elle commence de répondre à des préoccupations qui remontent à Newton et à Helmholtz. Il est entendu que cette discussion n'épuise pas le sujet. Ces analogies méritent peut-être l'attention des physiologistes de l'ouïe et de la vision.

Références

Pierre Demers 1976, "Le groupe G3 unificateur des perceptions humaines, II. L'espace A et les sous-espaces A_1, A_2, A_3, A_4 et A_5 des perceptions acoustiques", Ann. ACFAS 43 No 1, 117. 1978.1, "La perception colorée, modèle de toutes les perceptions humaines", Renc. A.S. Couleur I, Ann. ACFAS 45 No 3, 41-57. 1978.2, "Colorimétrie avec des lumières cohérentes (Esquisse d'une algèbre linéaire des couleurs)", Renc. A.S. Couleur II, Ann. ACFAS 45 No 4, 1-22

Drobisch (ca 1865), voir J.-C. Risset 1971, "Paradoxes de hauteur: le concept de hauteur n'est pas le même pour tout le monde", 7ème Congrès int. Acoust. III, 613-7

Jean-Pierre Saint-Dizier 1978, "Les couleurs d'interférence", Renc. A.S. Couleur Ann. ACFAS 45 No 4, 23-31

COMMENTAIRES SUR
 "UNE ECHELLE SPIRALEE POUR LES HAUTEURS MUSICALES"

Pierre Demers

Louise Gariépy

M. Gilles Manny m'a transmis votre texte...

J'aimerais d'abord vous préciser que, si je connais assez bien les questions de la perception auditive, et plus spécifiquement musicale, je connais très peu celles relatives à la perception de la couleur. Du fait de cette lacune, j'éprouve, je dois le dire, quelques difficultés à comprendre la dernière partie de votre texte. Puisque celui-ci, comme vous le mentionnez dans votre introduction, est destiné aux musiciens, il est possible que ceux-ci éprouvent la même difficulté.

Quoique la représentation des hauteurs relative et absolue par l'hélice de Drobisch paraisse à première vue mieux correspondre à la sensation habituellement perçue lorsqu'un son évolue du grave à l'aigu, il n'est pas trop difficile d'accepter la représentation sur un plan proposée dans votre texte, celle de la spirale.

Par contre, l'introduction de l'axe OG représentant l'intensité, surtout si cela doit amener une analogie avec la couleur pourrait être moins bien comprise par des musiciens. En effet, pour les musiciens, c'est le timbre d'un son, plus que son intensité, qui correspond davantage à l'intensité d'une couleur. Le vocabulaire "visuel" des musiciens l'exprime assez bien: les termes descriptifs du genre "sombre, clair, brillant, terne" désignent généralement différents timbres possible-ment d'une même hauteur.

... Je me suis demandé ... si on ne pourrait pas utiliser l'axe OG pour représenter cette hauteur de registre plutôt que l'intensité.

... y a-t'il une raison pour associer le do à la couleur rouge, le mi au vert et le sol dièse au bleu, ou cela a-t'il été fait pour la simple nécessité de superposer la spirale et le triangle? Que se passe-t'il si on tourne la spirale: est-ce que le triangle tourne aussi, c'est-à-dire, le rouge correspond-il au do absolu, ou à la tonique? Ce modèle est-il valable en dehors du système tonal occidental? ...

COMBIEN FAUT-IL DE PRIMAIRES COLORES?

2, 3, 4, 5, 6 OU DAVANTAGE?

Pierre Demers

Introduction

Ce texte est écrit dans un esprit interdisciplinaire et vise, sinon à réconcilier, du moins à rapprocher les aspects de la synthèse des couleurs qui concernent les coloristes des diverses branches. Par suite, nous employons le mot "primaire" dans un sens très, très large, nous englobons sous cette appellation, non seulement ce qu'on appelle ordinairement couleurs primaires, mais aussi ce qu'on appelle couleurs fondamentales, couleurs principales, couleurs de base, etc. En définitive, nous voulons évoquer, dans l'espoir d'y reconnaître une certaine ordonnance, les diverses manières de produire des couleurs variées à partir d'un nombre restreint d'entre elles, et examiner quel est ce nombre selon la manière considérée.

Des "primaires colorés", cela englobe donc des idées et des objets très disparates: les encres des arts graphiques, les pâtes sur la palette des artistes, les pigments du fabricant de peintures et vernis, les acétates de l'éclairagiste au théâtre ou dans une vitrine, les phosphors de l'écran de télévision, les faisceaux mélangés dans les colorimètres à synthèse additive, les ondes visibles données par un laser, les réseaux nerveux de la physiologie cérébrale, les variables mathématiques de la trivariance en trichromie, etc.

Il y aura lieu de préciser dans chaque cas.

Nous prenons pour acquis, que le lecteur est au courant des 2 modes principaux de synthèse ou d'obtention de couleurs à partir d'autres couleurs: la synthèse additive se fait par fusion de plusieurs lumières colorées pour en donner une seule, exemple télévision. La synthèse soustractive se fait en intercalant plusieurs filtres colorés sur le trajet de la lumière, les imprimés en couleur en donnent un exemple assez bon.

Nous prenons également pour acquis, que le lecteur sait ce que c'est qu'un équilibre ou égalisation colorimétrique de 2 plages comparées l'une à l'autre:

équilibre en valeur, intensité ou luminance, équilibre en qualité ou en chromaticité.

Ce texte est l'occasion de présenter des résultats originaux: au sujet de la tache jaune Macula lutea, sur la colorimétrie avec un filtre interposé, sur une espèce de remède aux dyschromatopsies (monochromates et dichromates), sur l'hexachromie 2° , 10° , sur le métamérisme de champ 2° , 10° et sur la polychromie ou n-chromie.



Un primaire (monochromie)

Une matière picturale, tels le crayon de mine et le fusain, déposée sur un support neutre, ne réalise évidemment qu'une gamme de gris neutres. (Elle suggère ou rappelle cependant le ciel bleu, les nuages blancs ou teintés par le couchant, les bananes jaunes ... par suite d'associations dues à l'éducation, et grâce à l'art du dessinateur).

Cependant, un primaire unique peut, dans certains cas, engendrer une gamme étendue de couleurs. S'il est vrai qu'un crayon sanguine est d'une couleur unique, il est également vrai qu'on en dépose sur un support qui, lui, est le plus souvent d'une autre couleur. Choisissons-le d'un cyan ou bleu-vert approprié. Cette gamme pourra alors renfermer le gris: bleu-vert, bleus-verts lavés de gris, grisâtre, rouge-brun, rougeâtre sanguine. C'est une gamme allant d'une teinte à sa complémentaire.

Faut-il parler d'un primaire ou de 2? Il y a certainement 2 couleurs différentes en jeu, le crayon et la feuille. Cependant, seul le crayon apporte ici une teinte ajustable, il n'y a qu'une variable ou une dimension. Nous avons donc vraiment le choix entre 1 et 2.

Sortes de couleurs en jeu: 2

Couleurs variables en jeu: 1

Le problème se posera encore plus loin dans cette étude: la couleur du fond doit passer en ligne de compte, mais elle ne constitue pas une variable. Il en

résulte un flottement d'une unité dans l'estimation du nombre des primaires.

Le cas des monochromates

Dans certaines dyschromatopsies, le sujet ne reconnaît aucune couleur. D'ordinaire, il s'agit alors d'une absence totale de cônes, et seuls les bâtonnets sont présents. Le sujet reconnaît lumière forte ou faible, la seule dimension perceptuelle est celle de l'intensité. Son espace visuel complet se ramène à une droite partant de 0 pour l'obscurité, avec une échelle d'intensités ou de luminances. (Fig. 1). Le monochromate n'a qu'un primaire.

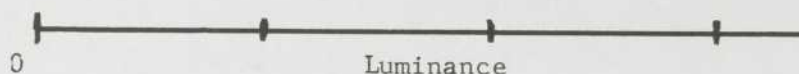


Fig. 1. Espace unidimensionnel du monochromate

Le monochromate peut devenir effectivement un dichromate. Pour expliquer cela, on peut recourir à une proposition de Cornsweet 1970 p. 196. Supposons à sa suite que nous ayons un filtre "linéaire", transmettant 0 à 380, 390 et 400 m μ , 100% à 650 m μ et au delà, et ailleurs comme suit. (Fig. 2).

$$T = 100\%(\lambda - 400)/250$$

Ce filtre paraîtrait jaune à un trichromate normal. Ce filtre est commode à dis-

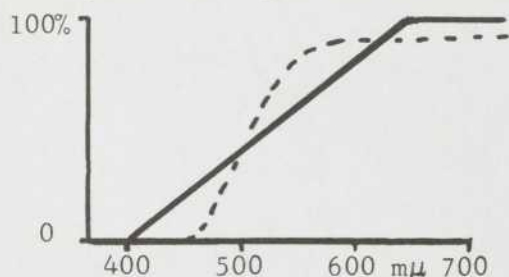


Fig. 2. Filtre linéaire "de Cornsweet" et un filtre jaune. Le filtre même décrit par Cornsweet transmet 100% à 400 et 0 à 650 m μ

cuter algébriquement, mais il ne semble pas qu'on l'ait jamais réalisé. Les filtres Schott FG9 et Wratten 85N3 lui ressemblent (voir Wyszecki et Stiles 1967 pp. 105, 159). On peut en faire une lunette que le monochromate porte devant un seul oeil (un monocle), ou encore, il regarde tantôt à travers le filtre, tantôt sans filtre. Selon la composition spectrale, l'aspect d'une plage change alors pour lui, les plages bleues sont fortement assombries, les plages rouges pas du tout, les plages vertes de façon intermédiaire, par l'effet du filtre. (Fig. 3).

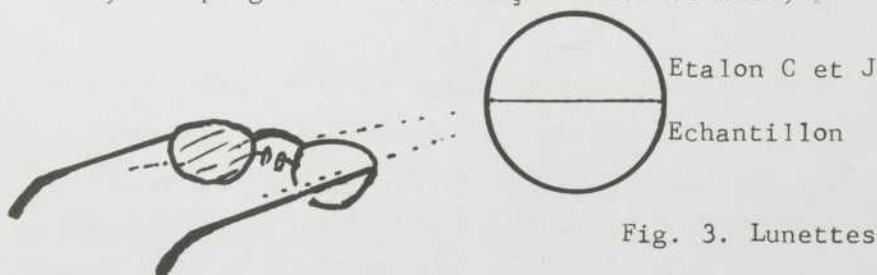


Fig. 3. Lunettes filtre sur un oeil

Supposons qu'on lui donne 2 primaires, rouge 600 m μ , C bleu 450 m μ . En l'absence du filtre, un seul de ces primaires lui suffit pour équilibrer un échantillon arbitraire. De même, si le filtre est constamment interposé: il lui suffit de régler l'intensité d'un des faisceaux primaires, ou d'un mélange en proportions arbitraires des 2.

Cependant, s'il regarde et compare la plage échantillon et la plage étalon formée de J et de C, tantôt à travers le filtre et tantôt sans le filtre, il doit régler, non seulement l'intensité, mais les proportions de J et de C, s'il veut que les 2 plages lui apparaissent constamment équilibrées. (Fig.3). Pour certains échantillons, il devra ajouter un primaire à la plage échantillon, c'est-à-dire, "désaturer" celle-ci. Il ne verra pas davantage des couleurs pour autant, mais il pourra établir une formule binaire pour tout échantillon, un terme J et un terme C, le terme désaturant, s'il en est, étant compté négativement. Il peut commencer de parler couleur avec les trichromates normaux.

Voici le schéma qui se propose pour des échantillons de pureté spectrale. S signifie dans la plage étalon, D signifie dans la plage échantillon.

380 m μ	DJ	SC	J- C+
450 m μ	J = 0	SC	C+
	SJ	SC	J+ C+
600 m μ	SJ	C = 0	J+
	SJ	DC	J+ C-
770 m μ			

Avec Q échantillon, T transmission, voici les équations, valables algébriquement en luminances.

$$\text{Sans filtre} \quad Q = J+C$$

$$\text{Avec filtre} \quad T_q Q = T_j J + T_c C$$

La question de corriger le monochromate grâce à des lunettes filtrantes fait l'objet d'un brevet italien (982567 en 1976). Le Tableau I et le diagramme fig. 4, représentent nos calculs avec le filtre proposé. L'espace requis est maintenant un plan: un point (J, C) sur ce plan représente à la fois l'intensité

et la composition binaire (j, c). La composition binaire ou qualité ou chromaticité se reconnaît par la direction de la flèche. Elle peut aussi se représenter par un point sur une droite. Dans le binôme (j, c), un des termes est superflu puisque le total est 100%. Il suffit du monôme (j) pour décrire la "qualité" de la couleur (disons plutôt la "qualité" de la lumière ...)

Donc, le monochromate possède un seul primaire, de couleur arbitraire. S'il se sert d'un filtre de la manière décrite, il devient l'équivalent d'un dichromate, il possède 2 primaires colorés, par exemple $450 \text{ m}\mu$ et $600 \text{ m}\mu$. Si on lui fournissait un 2ème filtre, il deviendrait quadrichromate.

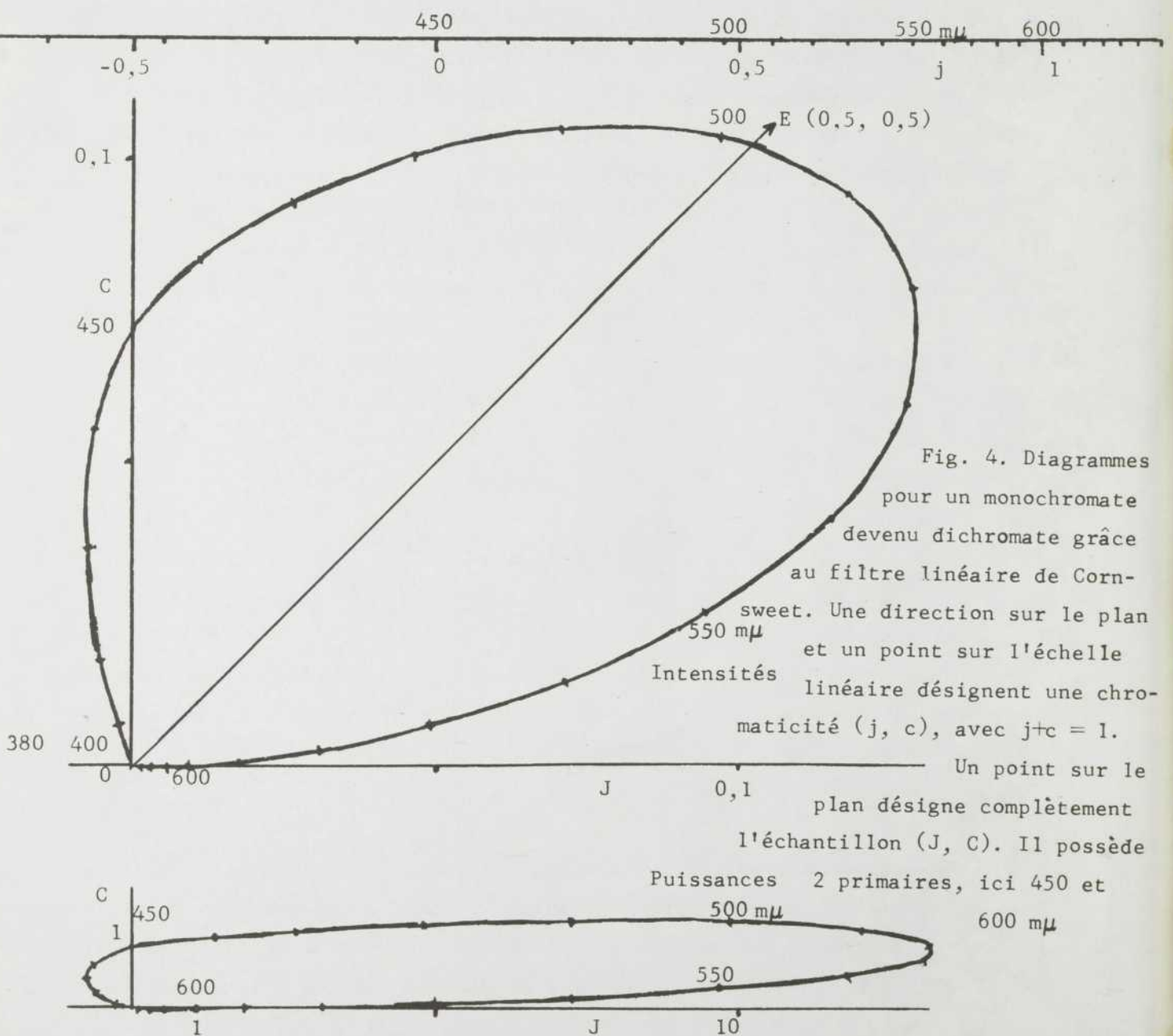
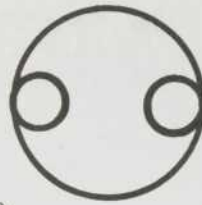


Tableau I. Observateur monochromate (scotopique) et filtre linéaire

Y visibilité scotopique. Etalon bichromatique C 450 m μ , J 600 m μ

λ m μ	Echantillon			Puissances		Intensités		Coordonnées	
	T	Y	TY	C	J	C10 ⁶	J10 ⁶	c	j
380		0,0006		0,00176	-0,00602	127	-59	1,86765	-0,86765
390		0,0022		0,00645	-0,02209	464	-216	1,87100	-0,87100
400		0,0093		0,02725	-0,09337	1963	-914	1,87131	-0,87131
410	0,04	0,0348	0,00139	0,09688	-0,27952	6979	-2736	1,64483	-0,64483
420	0,08	0,0966	0,00773	0,25477	-0,58193	18352	-5697	1,45018	-0,45018
430	0,12	0,1998	0,2398	0,49767	-0,80241	35849	-7855	1,28060	-0,28060
440	0,16	0,3281	0,05250	0,76917	-0,65884	55406	-6449	1,13173	-0,13173
450	0,20	0,4550	0,09100	1		72034		1	
460	0,24	0,5670	0,13608	1,16308	1,13855	83781	11145	0,88259	0,11741
470	0,28	0,6760	0,18928	1,28759	2,71486	92750	26756	0,77728	0,22272
480	0,32	0,7930	0,25376	1,39429	4,77711	100436	46764	0,68231	0,31769
490	0,36	0,9040	0,32544	1,45700	7,26104	104953	71079	0,59622	0,40378
500	0,40	0,9820	0,39280	1,43883	9,85944	103644	96515	0,51781	0,48219
510	0,44	0,9970	0,43868	1,31473	12,01205	94705	117588	0,44611	0,55389
520	0,48	0,9350	0,48880	1,09597	13,14257	78947	128654	0,38028	0,61972
530	0,52	0,8110	0,42172	0,83179	13,02811	59917	127534	0,31964	0,68036
540	0,56	0,6500	0,36400	0,57143	11,74699	41162	114993	0,26360	0,73640
550	0,60	0,4810	0,28860	0,35238	9,65864	25383	94550	0,21164	0,78836
560	0,64	0,3288	0,21043	0,19270	7,26265	13881	71095	0,16335	0,83665
570	0,68	0,2076	0,14117	0,09125	5,00241	6573	48969	0,11834	0,88166
580	0,72	0,1212	0,08726	0,03552	3,16386	2559	30971	0,07632	0,92368
590	0,76	0,0655	0,04978	0,00960	1,84137	691	18025	0,03694	0,96306
600	0,80	0,0322	0,02656		1		9789		1
610	0,84	0,0159	0,01336	-0,00233	0,51084	-168	5001	-0,03476	1,03476
620	0,88	0,0074	0,00651	-0,00217	0,25261	-156	2473	-0,06733	1,06733
630	0,92	0,0033	0,00364	-0,00145	0,11928	-104	1168	-0,09776	1,09776
640	0,96	0,0015	0,00144	-0,00088	0,05723	-63	560	-0,12676	1,12676



Deux primaires (bichromie)

Certains procédés d'imprimerie, de photographie et de cinéma en couleurs n'utilisent que 2 encres ou 2 teintures, l'une rouge orangé, l'autre vert-bleu. Le procédé Land utilise 2 faisceaux de lumière et autant de projecteurs, par exemple rouge et blanc. Ces procédés donnent une gamme de couleurs considérable qui permet de reproduire, ou de suggérer, une gamme de couleurs d'objets, encore plus vaste. L'impression à 2 encres met en jeu le blanc du papier: elle dispose ainsi, d'une certaine façon, de 3 primaires et non de 2.

Ces procédés ne sont jamais satisfaisants à la fois pour reproduire le blanc, le gris, le noir, la couleur chair, le feuillage vert et aussi les bleus purs, pour un observateur doué d'une vision normale des couleurs. Quant aux dichromates, ils sont tout à fait satisfaits de ces procédés de la bichromie, pourvu que le choix des filtres, des encres et des teintures soit adapté à leur type de dichromatisme. V. Cornsweet 1970, pp. 182-7.

Le triangle bien connu de Maxwell est à 2 dimensions, puisqu'il se dessine sur un plan. Il se prête à représenter la totalité des qualités colorées, mais il ne suffit pas pour représenter les degrés de clarté ou les valeurs. (Fig. 5). Les qualités colorées requièrent donc 2 variables. Nous pouvons concrétiser cela en utilisant 2 primaires en plus d'un fond coloré. Voici comment nous pouvons procéder. Utilisons un fond jaune constamment le même, et ajustons 2 impressions

Tableau I (Suite)

λ	T	Echantillon		Puissances		Intensités		Coordonnées	
		Y	TY	C	J	$C10^6$	$J10^6$	c	j
650	1	0,0007	0,00070	-0,00051	0,02811	-37	275	-0,15546	1,15546
660	1	0,0003	0,00030	-0,00022	0,01205	-16	118	-0,15686	1,15686
670	1	0,0001	0,00010	-0,00007	0,00422	-5	41	-0,13889	1,13889
680	1	0,0001	0,00010	-0,00007	0,00422	-5	41	-0,13889	1,13889
Illuminant E				13,88241	102,15403	1000000	1000000	0,50000	0,50000
502,5								0,50000	0,50000

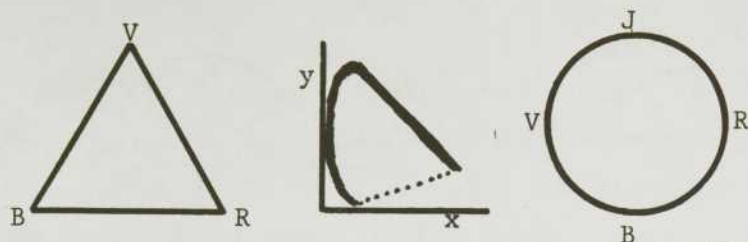


Fig. 5. 2 primaires, 2 dimensions, celles du plan d papier: Maxwell, CIE, etc

avec les 2 autres primaires de l'imprimerie: magenta et cyan. Nous obtenons une page de l'échelle des imprimeurs ou de Hickethier qui montre une bonne partie du triangle de Maxwell. Si les encres magenta et cyan étaient légèrement opaques, la gamme obtenue serait encore plus étendue. Avec l'échelle d'un imprimeur mont-réalais, voici les indications. Fond uniforme jaune de degré D, les degrés sont ainsi: zéro, A/2, A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K, L, M, solide. Neutre pour magenta D, cyan E. Autour du neutre se reconnaît toute une roue de qualités colorées, y compris le pourpre. Cependant, le jeu des 2 primaires qu'on s'accorde ainsi ne permet pas de contrôler les densités ou clartés. (Fig. 6). En d'autres termes, 2 primaires suffisent pour représenter la gamme complète des qualités colorées, mais non celle des jugements colorés.

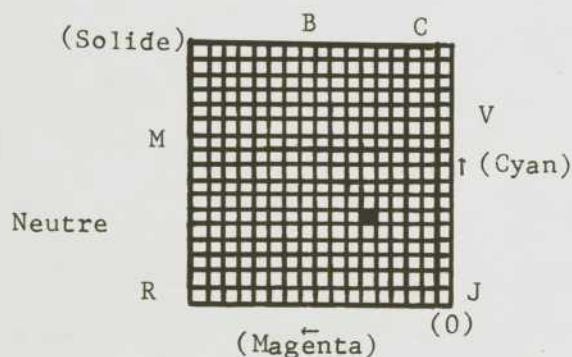
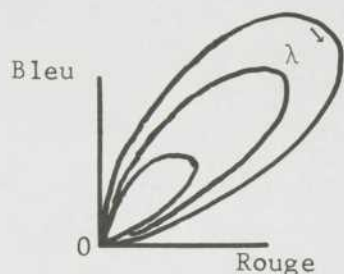
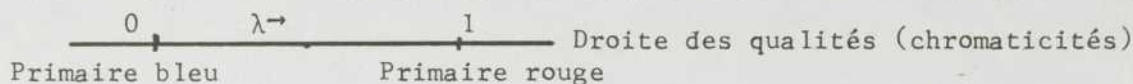


Fig. 6. 2 primaires magenta et cyan, 2 dimensions, celles de cette page d'une échelle de Hickethier, imprimée sur fond jaune degré D. Toute une roue à divers degrés de saturation

Le cas des dichromates

Une forme de dyschromatopsie ou de daltonisme assez fréquente, est celle des dichromates. Les sujets n'ont que 2 types de cônes. Leur vision des couleurs est représentée par 2 primaires convenablement choisis. Leur espace coloré complet (celui des jugements colorés), est à 2 dimensions: un point sur un plan désigne en même temps intensité et qualité. La qualité ou chromaticité apparaît comme une direction dans ce plan, ou bien comme un point sur une droite. (Fig. 7). En somme, nous répétons ce qui a été dit à propos des monochromates devenus effectivement dichromates grâce à des lunettes filtrantes. La différence, c'est

qu'ici, le sujet naturellement dichromate reconnaît les qualités colorées. Il faudrait discuter les 3 catégories de sujets dichromates: les protanopes n'ont pas de cônes (R), les deutéranopes n'ont pas de cônes (V), les tritanopes n'ont pas de cônes (B). Voir Le Grand 1946, 1972 Chap. XV sur les dyschromatopsies.



Plan des couleurs (jugements)

Fig. 7. 2 primaires pour le dichromate (exemple deutéranope), 2 dimensions dans le plan des jugements complets comprenant l'intensité. 1 "primaire" (1 dimension) sur la droite des qualités (proportion de rouge)

Qu'arrive-t'il à un dichromate qui se munit d'une lunette filtre sur un oeil, comme à la figure 3? Il devient effectivement quadrichromate, aussi bien que le monochromate devient alors dichromate (référence brevet italien 1976).



Trois primaires (trichromie)

Il est bien établi que la rétine normale de l'être humain contient 3 types de cônes, respectivement sensibles (R) aux ondes longues, (V) aux ondes moyennes et (B) aux ondes courtes. Elle possède 3 primaires, dans le sens de variables colorées. A cette trichromie physiologique, correspond la trichromie d'un grand nombre de procédés qui connaissent un grand succès: photographie, cinéma, imprimerie, télévision. C'est la trichromie fondamentale de l'oeil humain.

Photographie et cinéma utilisent, de nos jours, 3 couches de teintures, que la lumière blanche traverse successivement: le procédé est donc précisément soustractif. L'imprimerie trichrome est un procédé mixte, puisqu'il y a par endroits superposition de 2 ou de 3 encres, et ailleurs, voisinage côte à côte de taches de ces encres: les superpositions donnent une synthèse soustractive, les

voisinages, une synthèse additive. La télévision donne exclusivement une synthèse additive, par fusion des images des pastilles lumineuses voisines. Quant aux mélanges des peintures, ils réalisent surtout une synthèse soustractive, comme l'imprimerie. Le procédé artistique du pointillisme recourt à la fusion et à la synthèse additive, comme la télévision.

Les physiciens ont réalisé la synthèse additive par le mélange de faisceaux de lumière, et ils ont trouvé que 3 primaires sont satisfaisants. Convenablement choisis, ils permettent d'obtenir une plage étalon tout à fait semblable à n'importe quelle plage échantillon qu'on se propose. Les primaires étant R, V, B, tout échantillon répond, par suite, à une formule à 3 termes

$$(r, v, b),$$

où les lettres désignent des intensités ou des luminances. On dit alors qu'il y a équilibre entre la plage étalon et la plage échantillon: elles sont égales physiologiquement, mais inégales physiquement, parce que leurs compositions spectrales sont différentes. On dit encore que ces plages sont métamères l'une de l'autre. (Fig. 8). C'est la loi de Grassmann.

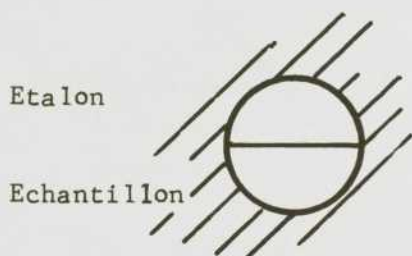


Fig. 8. Equilibre entre 2 plages métamères

Cependant, il faut dire que cette loi, avec des primaires tels qu'on peut les réaliser et choisis une fois pour toutes, requiert les intensités négatives, c'est-à-dire que l'un des termes est parfois de signe -, correspondant à un faisceau primaire appliqué à la plage échantillon et servant à la désaturer. Avec cette convention des termes négatifs, il est bien établi qu'il faut 3 primaires pour satisfaire les aptitudes de la physiologie. C'est la trichromie fondamentale de l'oeil humain. On trouve encore 3 primaires dans la théorie de Young-Helmholtz, c'est-à-dire 3 mécanismes qui réagissent différemment selon la longueur d'onde de la lumière. (Fig. 9).

Il faut 3 variables indépendantes. Mais au lieu de prendre 3 faisceaux ajustables en intensité, nous pourrions choisir autrement. Il y aurait par exem-

ple 2 faisceaux primaires monochromatiques, λ_1 de longueur d'onde fixe, l'autre λ_2 de longueur d'onde ajustable (λ_1 644 m μ laser au néon, λ_2 laser à fréquence ajustable). L'un et l'autre sont ajustables en intensités. On remplace 3 primaires faisceaux par 2 primaires faisceaux et 1 "primaire" qui est la valeur de λ_2 . (Idée de Saint-Dizier 1977).

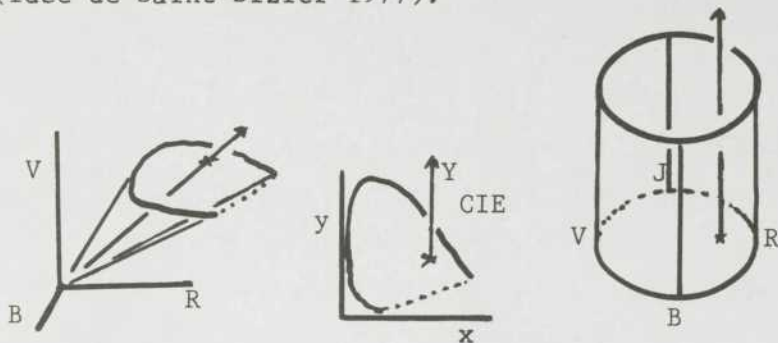
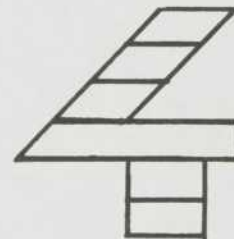
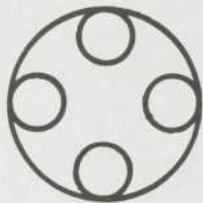


Fig. 9. 3 primaires pour la représentation complète des jugements colorés, 3 dimensions choisies de diverses manières, par exemple x et y avec en plus l'intensité Y

La distribution des qualités colorées dans le plan du triangle de Maxwell, ressemble à la distribution des caractères angulaires des étoiles dans le plan d'une carte céleste. Dans les 2 cas, il faut ajouter une dimension. (Fig. 10).



Quatre primaires (quadrichromie)

Malgré ce qui précède, on sait que les imprimeurs ont recours, dans la pratique courante, à 4 encres et à 4 impressions: aux couleurs primaires non neutres magenta, cyan et jaune, ils ajoutent le noir. Ils utilisent 4 séparations, celle pour le noir étant le négatif de celle pour le jaune. Sans l'impression en noir, le résultat manque de vigueur. D'autre part, l'électrophysiologie de la rétine montre que les signaux venant des cônes sont exploités selon 2 systèmes eux-mêmes doubles: rouge - vert, et jaune - bleu. Ensuite, l'analyse par les psychophysiciens, des jugements colorés, groupe ceux-ci naturellement autour de 4 jugements principaux qui sont rouge, jaune, vert, bleu, formant une chaîne fermée, après le bleu vient le rouge, etc. (Fig. 11, 12).

On sait que les détecteurs dans la rétine normale sont de 4 types: 3 types de cônes, et des bâtonnets. Les bâtonnets interviennent seuls dans la vision

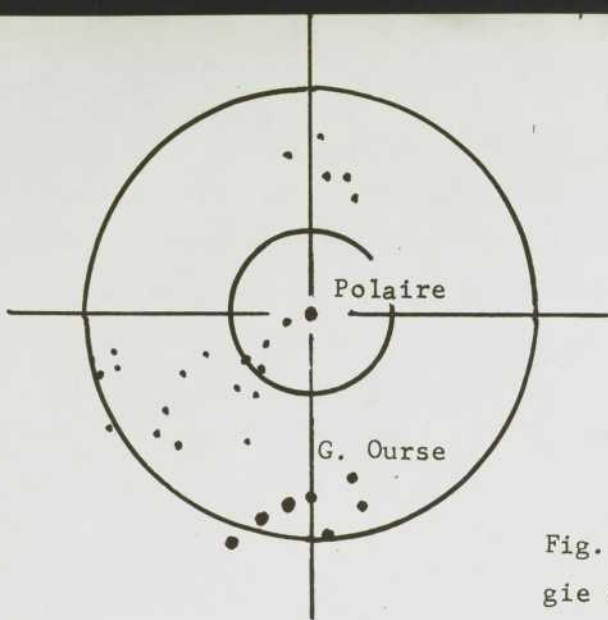


Fig. 10. La carte du ciel. Cette carte est à 2 dimensions (angulaires) pour une étoile. Il faut ajouter la dimension distance, ce qui fait 3

Fig. 11. Electrophysiologie de la rétine

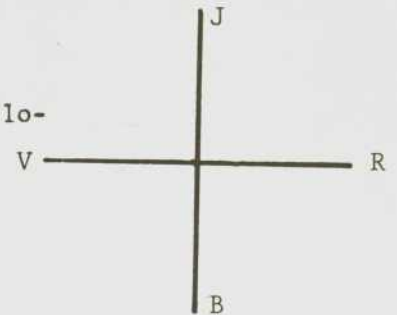
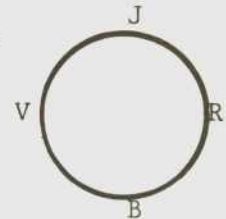


Fig. 12. Jugements psychophysiques sur les couleurs spectrales



Recommandation

Dans l'intention de faciliter la communication, il serait à propos de reconnaître 6 couleurs et d'adopter le vocabulaire que voici.

Rouge. Rouge franc, légèrement orangé et nullement pourpre.

Vert. Légèrement jaunâtre et nullement bleuté.

Bleu. Bleu franc, nullement verdâtre et plutôt légèrement violacé.

Magenta. Celui des imprimeurs, c'est-à-dire d'un rouge assez bleuté.

Jaune. Celui des imprimeurs, jaune franc, ni verdâtre ni orangé.

Cyan. Celui des imprimeurs, un bleu évidemment teinté de vert.

(Les explications devraient être accompagnées d'échantillons ...)

Le rouge, le vert et le bleu résultent d'une optimisation de la synthèse additive. Le magenta, le jaune et le cyan résultent d'une optimisation de la synthèse soustractive. Surtout ne pas confondre rouge et magenta, bleu et cyan.

Cette recommandation est le fruit de discussions au sein du CQC, animées par le Professeur Maurice Raymond.

nocturne ou scotopique, alors que les cônes sont inactifs, mais ils interviennent peut-être, quoique à un degré réduit, dans la vision diurne ou photopique. La vision nocturne ne montre pas les couleurs. A tous les niveaux de luminance du paysage, mais surtout aux niveaux de la vision mésopique c'est-à-dire de transition entre diurne et nocturne, on est justifié d'écrire, pour l'excitation de la rétine par une plage échantillon, une formule générale symbolique à 4 termes, a désignant les signaux des bâtonnets, r, v, b, ceux des cônes.

$$(r, v, b, a)$$

Enfin, certains physiciens ont cherché à vérifier si la colorimétrie par synthèse additive avec 3 primaires (équilibres métamériques) est valable à tous les niveaux, diurnes, mésopiques et nocturnes. Il est vrai, d'une part, que l'échantillon s'accorde chaque fois avec une formule trichrome, mais les proportions de cette formule doivent changer avec le niveau. Pour obtenir une formule de proportions invariantes quel que soit le niveau, il faut 4 primaires, désignés par R, J, V, B. La formule renferme 4 termes.

$$(r, j, v, b)$$

C'est ce que nous appellerons spécialement la tétrachromie expérimentale, plusieurs travaux expérimentaux s'y rapportent. (Fig. 13).

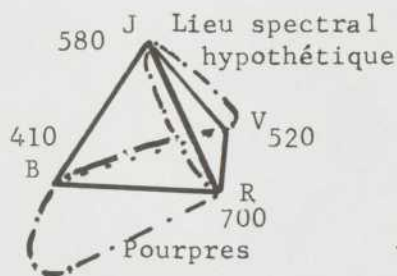


Fig. 13. Le tétraèdre des qualités ou chromaticités en tétrachromie expérimentale selon Demers 1975, 1977.1. 3 dimensions suffisent pour représenter 4 proportions de somme 100%. Il faudrait ajouter une dimension pour la clarté ou luminance

Un exercice proposé aux élèves en art plastique consiste à réaliser tous les mélanges possibles de 3 pâtes en tubes: rouge, jaune et bleu par exemple. Le résultat dérive principalement de la synthèse soustractive, et ils obtiennent ainsi orangé, vert et pourpre. Les pourpres et les verts obtenus sont d'ailleurs plus ou moins saturés et variables, selon les transmissions spectrales exactes des matières en présence. Spécialement les pourpres sont opaques et peu saturés. Cependant, si les élèves disposent de 4 pâtes, les résultats sont nettement plus satisfaisants: un rouge, un jaune, un vert, un bleu. Cet exercice s'accorde donc mieux avec la quadrichromie.

Quadrichromie photopique-scotopique

Équilibrons une plage échantillon avec 3 primaires en vision photopique, alors que ce sont les cônes qui réagissent. La luminance est la somme des luminances des primaires.

$$r + v + b$$

Interposons un filtre neutre, abaissant le niveau perçu suffisamment pour réaliser la vision scotopique, le filtre transmet par exemple 0,01%. A ce moment, règle générale, l'équilibre est rompu, parce que les bâtonnets ont une sensibilité spectrale qui leur est particulière. Avec 3 primaires seulement, il n'est pas possible de réaliser un équilibre invariant par rapport à l'interposition ou à la suppression du filtre. Il faudrait disposer de 4 primaires, disons R, V, B, C. A ce moment, il devient possible de réaliser une formule qui équilibre l'échantillon proposé en couleur et en luminance pour la vision photopique, et en luminance pour la vision scotopique.

Cette observation suggère des calculs qui conduiraient à établir la formule quadrichrome de chaque longueur d'onde spectrale. Ces calculs n'ont pas été réalisés, mais l'auteur a réalisé des calculs du même genre concernant l'hexachromie. Il faudrait ensuite mettre en parallèle les résultats de la présente quadrichromie et ceux de la tétrachromie expérimentale ci-dessus.



Cinq primaires (pentachromie)

Dans l'atlas du système Munsell, on distingue 5 couleurs principales, qui sont dès lors des "primaires" au sens où nous l'entendons ici: rouge, jaune, vert, bleu, pourpre. (Fig. 14).

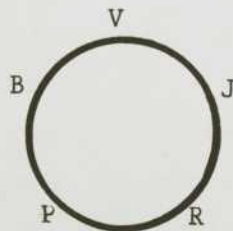
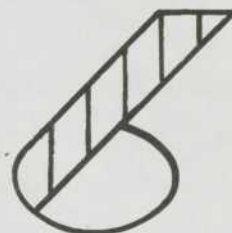


Fig. 14. 5 primaires dans le système Munsell

L'exercice précédent en art plastique peut se reprendre avec 5 couleurs primaires que les élèves mélangent 2 à 2, et les résultats sont alors une roue de couleurs beaucoup plus vives et satisfaisantes, qu'avec 4 primaires.



Six primaires (6-chromie)

3 additifs, 3 soustractifs. Les lumières primaires les plus utiles en synthèse additive, vu la trichromie fondamentale, forment 3 faisceaux: rouge, vert, bleu. Le rouge est un rouge franc, légèrement orangé; le vert est légèrement jaune; le bleu est un bleu franc, nullement verdâtre, plutôt légèrement violet. Ainsi réussit-on à optimiser la synthèse d'une vaste gamme, comprenant un jaune franc, un pourpre intense, un bon vert-bleu, et enfin un blanc ou un gris neutre. La synthèse soustractive requiert par contre des filtres d'aspects très différents: il faut un filtre magenta, c'est-à-dire rouge assez violacé, un filtre jaune franc, et un filtre cyan, c'est à dire d'un bleu évidemment teinté de vert. Des filtres rouge, vert et bleu donneraient, par synthèse soustractive, des teintes soit trop lavées de blanc, soit davantage saturées, mais trop sombres. Pour satisfaire aux 2 procédés de synthèse des couleurs, nous pouvons dire qu'il faut 6 (objets) primaires, 3 faisceaux R, V, B, et 3 filtres M, J, C. (Fig. 15).*

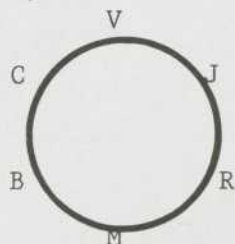


Fig. 15. Les 6 primaires essentiels dans l'activité quotidienne. RVB, télévision. MJC, photo, arts graphiques

Antagonismes physiologiques. Examinons les expériences établissant la trichromie fondamentale, en nous attachant à la nécessité des termes négatifs et de la désaturation. Les termes positifs et les termes négatifs sont rendus nécessaires par suite de la physiologie de la comparaison colorimétrique. Ils sont réalisés à partir de 3 sortes seulement de lumières, et de 3 lanternes seulement, servant à les produire si l'on veut, mais il est nécessaire de disposer de 6 faisceaux physiquement distincts, puisque le rouge doit être dirigé à volonté sur la plage étalon ou sur la plage échantillon, ou encore sur les 2; de même le vert et

* Voir la Recommandation ci-dessus

le bleu: + pour la plage étalon S, - pour la plage échantillon D. A ces égards, il y a lieu de parler de 6 primaires et non pas de 2. (Fig. 16). Si nous parlons d'un espace vectoriel (abstrait) à 6 dimensions, nous pouvons dire de celui-ci qu'il possède une métrique +++ ---. A cause de la nécessité de la désaturation, la même sorte d'antagonisme physiologique donne lieu, dans plusieurs des paragraphes qui suivent, d'appliquer un facteur 2 au nombre des primaires comptés autrement.

Sortes de lumières	R	Faisceaux physiquement	+R SR
et lanternes: 3		distincts et physiolo-	-R DR
	V	giquement nécessaires:	+V SV
	6		-V DV
	B		+B SB
			-B DB



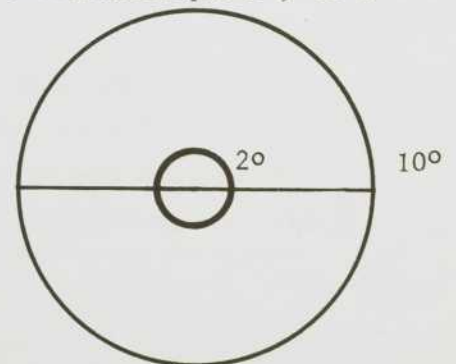
Inégalités de la rétine. La trichromie fondamentale admet une revision, mentionnée plus haut, commandée par le niveau d'éclairement, qui conduit à la tétrachromie. Elle admet une autre revision, que nous allons voir, que commande la portion de la rétine employée pour comparer la plage étalon et la plage échantillon. Cette revision conduit à la nécessité de 6 primaires. En effet, on a trouvé que la formule trichrome ne reste pas toujours la même, pour un échantillon donné, selon qu'on emploie la portion centrale de la rétine, c'est-à-dire la fovea, ou une portion périphérique. On a ainsi déterminé les formules trichromes pour un champ visuel centré sur la fovea, de diamètre soit 2°, soit 10°. (Fig. 17). Ces formules utilisent un indice.

$$r_{20}, v_{20}, b_{20} \quad r_{100}, v_{100}, b_{100}$$

Un échantillon donné est donc caractérisé par 6 nombres venant par paires: 2 pour chaque sorte de lumière. Par exemple, avec les primaires spectraux recommandés par la C. I. E., R 700, V 546,1, B 435,8 mμ, voici la formule colorimétrique 2°, 10°.

$$(r_{20}, v_{20}, b_{20}, r_{100}, v_{100}, b_{100})$$

Fig. 17. Fixer le centre, tenir à 30 cm de l'oeil. Colorimétrie
2°, 10°
Plages étalons
Plages échantillons



Un équilibre colorimétrique réalisé dans les conditions 2° avec les 3 lumières R, V, B, n'est généralement pas valable dans les conditions 10° . Est-ce qu'on ne pourrait pas trouver une méthode de colorimétrie, rendant l'équilibre valable à 10° aussi bien qu'à 2° ? On réaliserait alors une sorte d'invariance par rapport au diamètre du champ. (Précédemment, on a parlé d'une autre sorte d'invariance de l'équilibre colorimétrique: c'était par rapport au niveau d'éclairement, section quadrichromie). La chose, impossible avec 3 sortes de lumières, devient cependant possible, si on s'accorde 6 sortes de lumières servant de primaires.

La méthode consiste à ajouter 3 lumières primaires, par exemple J, C, D:

R, J, V, C, B, D.

Un échantillon est encore caractérisé par 6 nombres, mais ceux-ci ne se rapportent pas à 3 lumières, ils se rapportent chacun à l'une de ces 6 lumières (ces nombres sont soit +, soit -). Nous aboutissons à une hexachromie colorimétrique de l'oeil humain, d'une certaine façon aussi fondamentale que la trichromie fondamentale: c'est l'hexachromie 2° , 10° .

Hexachromie 2° , 10° . Les données nécessaires au calcul des formules hexachromatiques aux diverses longueurs d'ondes, existent dans les tables recommandées par la C. I. E., sous la forme de valeurs correspondant à des primaires "idéaux" ou fictifs qu'on a trouvé commode de définir, bien sûr à partir de l'expérience, et d'employer. Il y a 6 de ces primaires idéaux, et la formule, que l'on peut obtenir en consultant 2 de ces tables, celle pour 2° (CIE 1931) et celle pour 10° (CIE 1964), comprend 6 termes, qu'on peut énumérer ainsi.

$$(X_{2^\circ}, Y_{2^\circ}, Z_{2^\circ}, X_{10^\circ}, Y_{10^\circ}, Z_{10^\circ})$$

On sait comment passer d'une formule à 3 primaires pour un échantillon, à la formule correcte pour le même échantillon, avec 3 primaires différents: il faut recourir à une matrice 3×3 , possédant 9 termes. Le principe est le même si l'on veut passer d'une formule à 6 primaires, à la formule valable avec 6 primaires différents. Il faut une matrice 6×6 , possédant 36 termes. Des calculs ont été effectués en utilisant l'ordinateur CDC 3000 du Centre de Calcul de l'Université de Montréal.

Choix naturel de 6 primaires réels. A priori, il est donc possible de trouver 6 lumières réelles, monochromatiques, pouvant servir de primaires hexachromatiques sous les noms ci-dessus: R, J, V, C, B, D, et de calculer les formules pour les lumières spectrales. Le choix du jeu des 6 longueurs d'ondes de ces primaires est

de prime abord arbitraire, mais il apparaît des raisons pratiques qui limitent énergiquement ce choix: c'est la nécessité d'éviter des termes négatifs trop importants. Par exemple, il est nécessaire de répartir les primaires à travers le spectre. La procédure d'optimisation est relativement obvie: obtenir des termes tous positifs pour un blanc, que nous avons choisi illuminant E. La formule peut alors s'exprimer, moyennant normalisation en intensités, de façon équilibrée.

$$E \left(\frac{1}{6}, \frac{1}{6}, \frac{1}{6}, \frac{1}{6}, \frac{1}{6}, \frac{1}{6} \right)$$

Les domaines disponibles pour les 6 primaires sont dès lors remarquablement resserrés. En particulier, pour J, la longueur d'onde doit rester comprise entre 555,0 et 556,0 mμ, domaine qui comprend le lieu du maximum de la sensibilité diurne. (Fig. 18). Afin d'optimiser encore davantage, il faudrait chercher par tâtonnement, quel est le jeu, déjà acceptable d'après le critère E, qui réduit le plus les termes négatifs aux diverses longueurs d'ondes. (Fig. 19).

Un moyen intéressant d'apprécier le 2ème critère, est de présenter l'aspect du champ à l'équilibre. Cet aspect, naturellement, tombe toujours à l'intérieur du diagramme xyCIE(1931). Si la désaturation est forte, l'aspect s'écarte beaucoup de celui de la couronne spectrale. Le diagramme (fig. 20) présente 6 points de contact avec la couronne spectrale, ailleurs, les points se rassemblent au voisinage d'un certain bleu (0,18, 0,12).

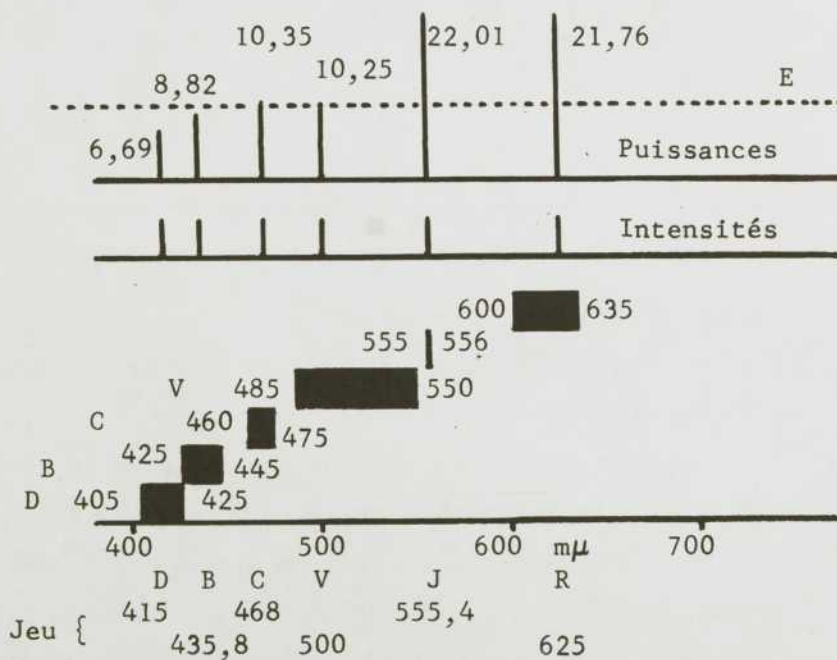


Fig. 18. 6 primaires réels pour l'hexachromie 2°, 10°. Domaines permettant une formule + + + + + pour le cardinal E. Jeu optimisant l'uniformité des puissances

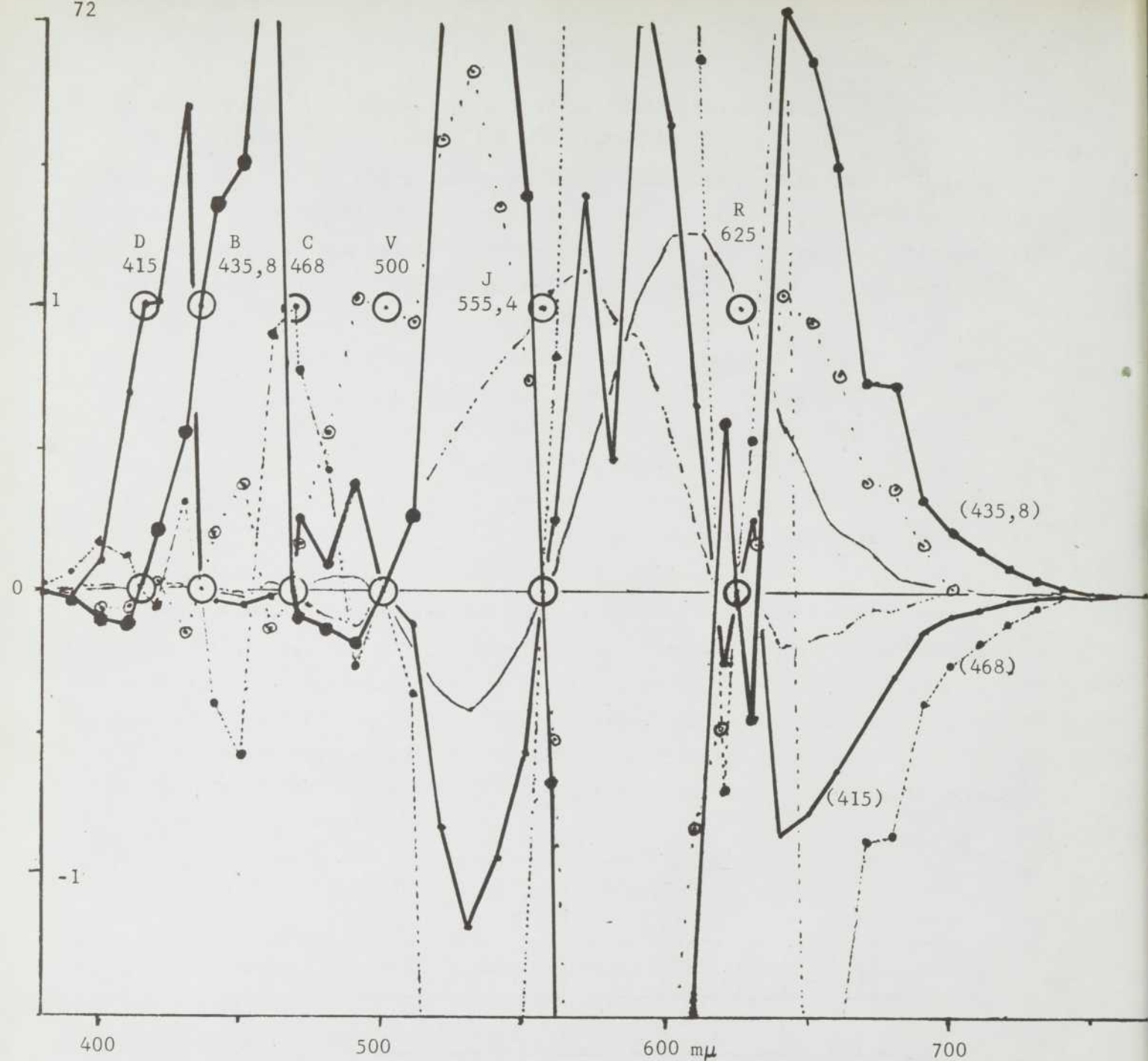


Fig. 19. Fonctions hexachromatiques RJVCBD(1978) 2° , 10° avec les primaires optimisés 625, 555,4, 500, 468, 435,8, 415 $m\mu$ pour les lumières monochromatiques λ de puissance unité. En ordonn es, puissances des faisceaux primaires. Les valeurs importantes + et - s'accompagnent. Lorsque λ passe par la longueur d'onde d'un faisceau primaire, l'ordonn e vaut l'unité pour ce primaire, et s'annule pour les 5 autres. Ce diagramme n'est pas de consultation tr  intuitive, mais contient en principe une information complète. Le diagramme fig. 20 contient une information incomplète: l'aspect du champ à l'équilibre, mais il est davantage intuitif.

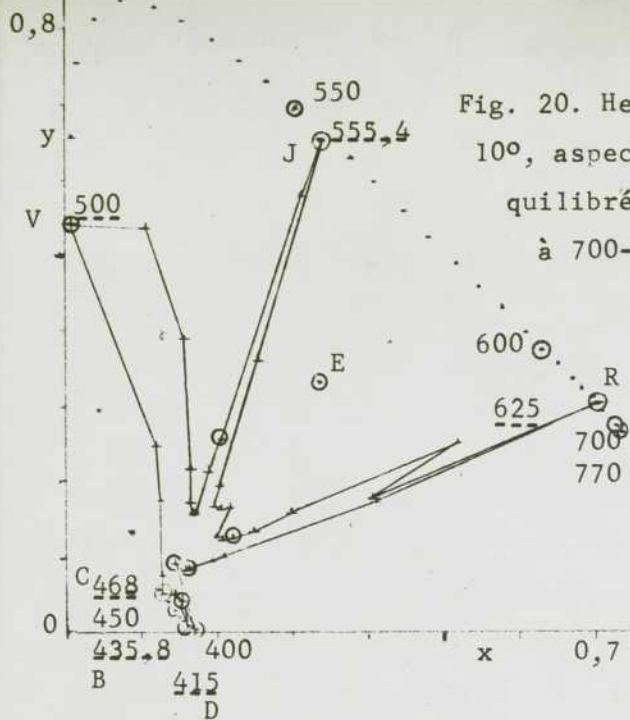
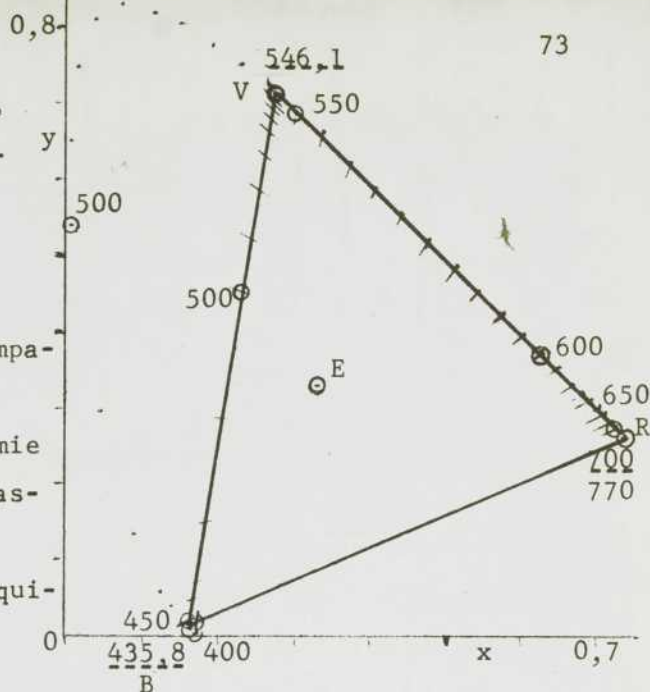


Fig. 20. Hexachromie 2°,
10°, aspect du champ é-
quilibré de 380-400
à 700-770 mμ

Pour compa-
raison,
trichromie
RVB2°, as-
pect du
champ équi-
libré



On sait que plusieurs auteurs ont cherché à déterminer quels étaient les jeux de 3 primaires les plus appropriés pour la trichromie fondamentale, qui seraient censés correspondre aux propriétés des cônes eux-mêmes: Koenig, Fick, Wright, Stiles, etc, consulter Le Grand 1946, 1972, Chap. 19. Dans le cas actuel, nous avons une occasion de définir, par la procédure d'optimisation ci-dessus décrite, qui est objective et définie de façon assez rigoureuse, un jeu de 6 primaires, que nous pouvons proposer comme les 6 lumières "primaires hexachromatiques fondamentales" de l'oeil humain. Elles constituent une exigence de la vision colorée 2° et 10°. Voici la liste, d'après nos résultats actuels.

D 415 B 435,8 C 468 V 500 J 555,4 R 625

Tolérances et nécessité de 6 primaires. Etant donné qu'il existe des tolérances et des seuils de perception des différences de couleurs, il reste à établir, autour de chaque point des diagrammes précédents, qui expriment les équilibres entre les 6 primaires et l'échantillon, l'équivalent des ellipses de MacAdam. Les points figuratifs à l'intérieur de ces ellipses ont tous le même aspect coloré. Cependant, si les ellipses de la trichromie peuvent se tracer sur un plan (lorsqu'on envisage seulement les qualités colorées), l'équivalent de ces ellipses en hexachromie demanderait plus qu'une figure plane. Cette étude reste à faire. Peut-être montrerait-elle que, dans certains cas, 5, 4 ou même 3 primaires suffisent au lieu de 6, c'est-à-dire que 1, 2 ou même 3 primaires sont alors superflus et n'améliorent les équilibres que de façon imperceptible. La réduction du nombre des primaires s'écrirait comme suit.

6 → 5 6 → 4 6 → 3 . . .

Ces possibilités établiraient un parallèle avec la trichromie fondamentale: pour équilibrer un jaune spectral, il suffit de 2 primaires spectraux, un rouge et un vert. Ecrivons la réduction dans ce cas.

3 → 2

Hexachromie et métamérisme de champ 2° , 10° . On parle de métamérisme (fig. 8) lorsque l'équilibre est réalisé entre plages de compositions spectrales différentes. La discussion ci-dessus sur l'hexachromie 2° , 10° revient à dire que l'équilibre exact entre champs métamères, réalisé dans les conditions 2° , ne persiste pas, règle générale, dans les conditions 10° : certaines fois, les défauts d'équilibre dépassent les seuils de tolérance visuelle, et sont manifestes: ce défaut peut s'appeler métamérisme de champ, et il y est porté remède par les formules de l'hexachromie 2° , 10° . Certaines teintures de jaune vert ou de khaki manifestent de tels métamérismes. La discussion ci-dessus suggère un remède: il suffira probablement d'exiger l'équilibre entre les 2 plages (fournies par les 2 teintures), à l'intérieur de chacune de 6 bandes convenablement choisies, se partageant le spectre visible. Cette règle ressemble à celle proposée aux éclairagistes pour éviter le métamérisme d'éclairage: il faut que l'équilibre se réalise à l'intérieur de 6 ou de 7 bandes spectrales.

Le colorimètre de Donaldson applique déjà des principes analogues. Il recourt à 6 faisceaux primaires, formés par l'usage d'autant de filtres. D'après une remarque de Wyszecki et Stiles 1967 p. 203, cela réduit les métamérismes, ce qui s'accorde avec la discussion précédente.

Hexachromie de champ 2° , θ . Lorsqu'on examine finement les propriétés de l'oeil, au moyen de petites plages circulaires se projetant sur la rétine à diverses distances angulaires θ du centre de la fovea, on trouve à chaque angle une formule différente pour un même échantillon. On trouve possible de remplacer les petites plages circulaires par des plages annulaires. C'est la vision périphérique. Les propriétés de l'oeil ne sont pas décrites complètement par les formules ci-dessus 2° et 10° . (Fig. 21). On obtiendra une description meilleure en déterminant à plusieurs angles θ , les fonctions r_θ , v_θ , b_θ , fonctions trichromes venant par triplets. Chaque paire de tels triplets se prête à l'établissement d'une hexachromie, selon les procédés mathématiques de calcul employés, par exemple 2° et θ , θ

prenant les valeurs 2° , 4° , etc. La vision périphérique des couleurs a évidemment de l'importance, chaque fois qu'il s'agit de comparer 2 plages distantes.

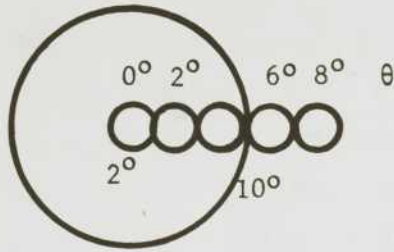
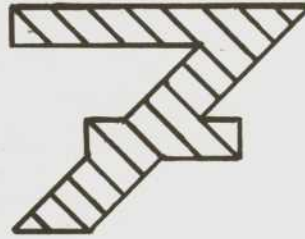
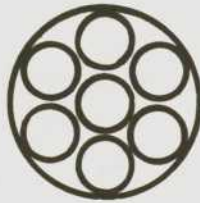


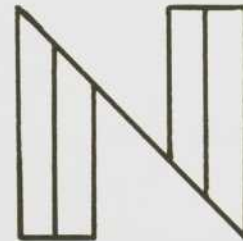
Fig. 21. Hexachromie de champ 2° , θ

Quadrichromie spontanée des dichromates. Les différences entre la vision centrale et la vision périphérique existent aussi bien pour les dichromates que pour les trichromates normaux, et elles conduisent à un doublage du nombre des primaires. Il existe une quadrichromie 2° , 10° pour les dichromates. Semblablement, il existe une dichromie, également spontanée, 2° , 10° , pour les monochromates.



Sept primaires (heptachromie)

Dans sa description célèbre du spectre solaire, Newton nomma 7 couleurs principales R, O, J, V, B, I, Vi. Ces choix correspondaient à un nombre sacré des juifs et des chrétiens, et aussi aux notes de la gamme musicale.



n primaires (n-chromie)

9-chromie. On peut trouver d'excellentes raisons de réaliser une 9-chromie, exigeant 9 primaires, tout en se basant sur la trichromie fondamentale. Il suffit d'envisager 3 conditions angulaires. L'invariance par rapport au passage de l'une de ces conditions à une autre, réclame un facteur 3, et $3 \times 3 = 9$. De même, 4 conditions angulaires réclament 12 primaires, etc. Cependant, l'effet des tolérances et

des seuils de perception des différences colorées interviendrait sans doute, pour rendre superflus un certain nombre de ces 9 ou de ces 12 primaires.

Sauf l'effet de ces tolérances, nous reconnaissons que l'oeil humain est organisé pour permettre, en principe, d'analyser la composition colorée d'une plage lumineuse isolée, selon plus de 3 variables.

Plus d'une plage à la fois. Jusqu'ici, nous avons envisagé le jugement coloré portant sur une plage unique, de préférence isolée sur un fond obscur noir. Cependant, la pratique quotidienne de la vision colorée est bien différente, et on peut envisager les jugements sur 2 plages visibles à la fois, sur 3 telles plages, etc. Par exemple, si on se contente de 2 plages, des relations réciproques s'établissent, et la trichromie fondamentale, qui exige 3 variables pour décrire la 1ère plage et autant pour décrire la 2ème, conduit, à cause de ces relations, à se satisfaire de 5 variables. Chacun sait qu'une tache neutre sur un fond rouge brillant, paraît verte. R. M. Evans 1974 a longuement développé de telles idées.

Usage de filtres. L'usage d'un filtre double le nombre des primaires, comme nous l'avons discuté pour les mono- et les di-chromates, et cela tient encore pour un trichromate normal: sa trichromie fondamentale est remplacée par une hexachromie fondamentale. S'il utilise 2 filtres appropriés, il acquiert la 9-chromie, etc, avec les réserves mentionnées pour l'effet du seuil de perception des différences colorées.

n-chromie des artistes. Malgré les théories et les possibilités de la synthèse additive et de la synthèse soustractive, il reste que les artistes éprouvent le besoin d'utiliser une vaste gamme de tubes, de pâtes, d'encre ou de godets. On peut donc dire que les artistes reconnaissent un nombre de primaires très supérieur à 3, et voisin plutôt de 15 ou 20 ou même davantage.

12-chromie des marchands. Les fabricants et les marchands de peintures ont trouvé avantageux des systèmes procédant par additions de couleurs à une base, pour obtenir les teintes exactes demandées. Les additions se font en quantités exactement réglées. Comme chacun peut le constater chez son détaillant, ces couleurs sont assez généralement au nombre de 12. Voir Kirouac 1978. Plus il y a de ces couleurs, plus les teintes intermédiaires sont vives.

Intervention de la tache jaune Macula lutea

I. Nous portons tous, en plein centre de la rétine, un filtre jaune couvrant la fovea et la région avoisinante. (Fig. 22). Ce filtre intervient le plus souvent à notre insu, dans notre perception du paysage. Il joue certainement un rôle pour établir les différences entre colorimétries 2° et 10° , et il est à la source, pour une part, de l'hexachromie 2° , 10° . Nous allons essayer de comprendre quel peut être ce rôle. Pour cette fin, nous allons discuter de ce que verrait un observateur privé de Macula lutea. V. Le Grand 1945, 1965, 1946, 1972.

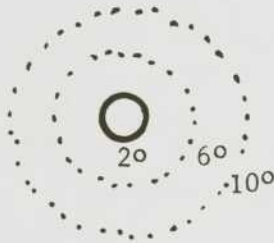


Fig. 22. Limites approximatives de la Macula lutea, selon les sujets. Elliptique, elle est plus étendue horizontalement

Nous pouvons bien dire que la Macula lutea est une gêne ou un parasite (plus ou moins comme les cils et les paupières), mais elle est là et affecte l'aspect du paysage. On peut se demander ce qui adviendrait, si elle disparaissait subitement. Le paysage s'éclairerait alors considérablement dans ses plages d'aspect pourpre, violet, bleu et bleu verdâtre. Les plages vertes, jaunes et tirant sur le rouge ne changeraient guère. Les plages blanches deviendraient davantage bleutées. Mais il faut dire que ces changements concernent la vision centrale, puisque la périphérie n'est pas couverte. La disparition subite de la Macula lutea ferait apparaître une tache claire tirant sur le bleu, entourée d'un fond paraissant brusquement plus sombre et plus jaune.

On peut imaginer que l'observateur privé en permanence de la Macula lutea deviendrait plus intéressé aux teintes tirant sur le bleu et le violet, puisque les lumières de courtes longueurs d'ondes, parmi celles venant des paysages extérieurs, parviendraient en proportion plus grande aux cônes détecteurs.

II. L'effet de la Macula lutea peut s'apprécier dans 2 expériences opposées, faciles à réaliser. Regardez à travers un acétate jaune moyen mesurant 6 à 10 cm de côté, que vous tenez le bras tendu (6° à 10°) (Rosco No 207). Regardez fixément, afin d'utiliser constamment la même région de la rétine. Puis retirez le filtre jaune. Pour un instant, vous voyez à peu près comme si on venait de

supprimer votre Macula lutea: une tache bleutée sur l'écran blanc. (Fig. 23). Cette tache suit les mouvements de votre oeil.* L'expérience opposée est un peu plus difficile à préparer. Elle consiste à introduire un filtre bleu pâle tirant sur le violacé, par exemple No 242, mais cette fois sur un fond neutre plus sombre, par exemple gris No 280 double. Auparavant, il vous faut regarder quelques instants à travers le filtre neutre, puis le remplacer par le filtre composite. Pour un moment, vous voyez une tache bleutée, plus claire que l'entourage. Cependant, cette fois-ci, la tache bleu clair ne suit pas les mouvements de votre oeil, à cet égard, l'expérience est moins probante que la précédente.

Voici une troisième expérience: c'est tout simplement de passer d'un éclairage à incandescence, à un éclairage fluorescent lumière du jour de même illumination. Ce dernier peut être remplacé par l'éclairage naturel. Le passage incandescent → lumière du jour augmente les courtes longueurs d'ondes, plus ou moins comme le ferait la suppression de la Macula lutea. Cependant, la ressemblance est assez lointaine, puisque c'est le paysage entier qui est changé.

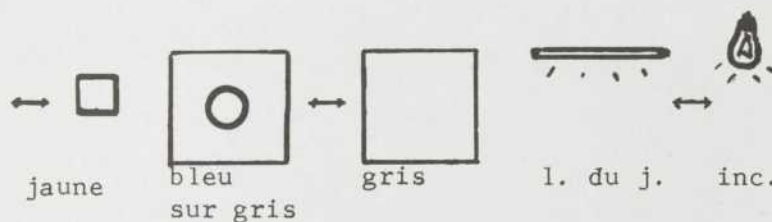


Fig. 23. 3 expériences simulant l'effet de la Macula lutea

Observateur M(1978). Imaginons que nous portions en permanence des lunettes filtres sur les 2 yeux, d'un bleu légèrement violacé, qui constitueraient la correction exacte voulue pour annuler l'effet filtrant de la Macula lutea. Nous pouvons alors discuter des jugements colorés que nous porterions. Par exemple, comment serait modifiée la colorimétrie 2^o? Les équilibres alors réalisés seraient différents de ceux réalisés sans les lunettes bleues en question. Afin d'être précis, nous parlerons de l'observateur normal de la C. I. E., et nous supposerons qu'il est muni de ces lunettes. Nous dirons qu'il devient de la sorte "l'observateur M(1978)". Le filtre voulu pourrait s'appeler "anti-Macula". Tandis que le filtre "Macula" peut se réaliser très exactement, quoique de façon temporaire, en utilisant la xanthophylle végétale, du filtre bleu né-

* Un acétate jaune imite imparfaitement la Macula lutea. Celle-ci est formée de xanthophylle, comme il s'en trouve dans les feuilles jaunies à l'automne, mais l'extrait végétal ne peut guère servir, étant fugace à l'air et à la lumière.

cessaire, il ne semble pas exister d'approximation suffisamment voisine. Les valeurs admises proviennent de Wyszecki et Stiles 1967, p. 169. (Tableau II).

Tableau II. Macula lutea

M ₀ Macula lutea; M ₁ , M ₂ anti-Macula, M ₁ fictif = M ₂ /0,3199. Transmissions											
λmμ	M ₀	M ₁	M ₂	λmμ	M ₀	M ₁	M ₂	λmμ	M ₀	M ₁	M ₂
375	1	1	1								
380	0,9644	1,0369	0,3317	435	0,4169	2,3988	0,7674	490	0,3890	2,5704	0,8222
385	0,9289	1,0765	0,3444	440	0,3981	2,5119	0,8035	495	0,4365	2,2909	0,7328
390	0,8933	1,1194	0,3581	445	0,3758	2,6607	0,8511	500	0,5309	1,8836	0,6026
395	0,8578	1,1658	0,3729	450	0,3467	2,8840	0,9226	505	0,6383	1,5668	0,5012
400	0,8222	1,2162	0,3890	455	0,3236	3,0903	0,9886	510	0,7413	1,3490	0,4315
405	0,7586	1,3183	0,4217	460	0,3199	3,1261	1	515	0,8222	1,2162	0,3890
410	0,6918	1,4454	0,4624	465	0,3388	2,9512	0,9441	520	0,8913	1,1220	0,3589
415	0,5957	1,6788	0,5370	470	0,3589	2,7861	0,8913	525	0,9772	1,0233	0,3388
420	0,5012	1,9952	0,6383	475	0,3890	2,5704	0,8222	530	1	1	0,3199
								...			
425	0,4519	2,2131	0,7079	480	0,3846	2,6001	0,8318	770	1	1	0,3199

L'observateur M(1978) (fig. 24) établirait des fonctions et des coordonnées trichromatiques avec des primaires réels et fictifs, ce sont les diagrammes que nous présentons avec des notations parallèles à celles de la C. I. E., aux figures 25, 26 et 27. Puisque la Macula lutea ne couvre qu'une petite partie de la région de la rétine, qui sert à la colorimétrie 10°, on peut s'attendre à une ressemblance entre normal 10° et M 2°. En réalité, la ressemblance existe mais est imparfaite. Il y a une suggestion d'une équation mixte telle que la suivante. Les hexachromies 2°, 10° et Macula, anti-Macula, sont différentes.

$$\text{normal } 10^\circ \approx (4/5)\text{normal } 2^\circ + (1/5)M \ 10^\circ$$

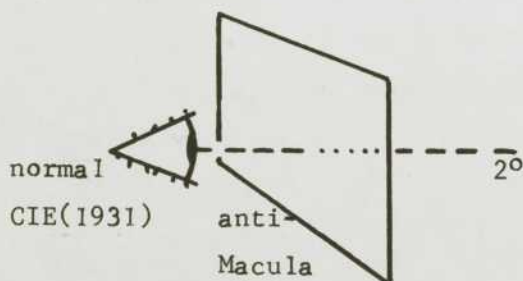


Fig. 24. L'observateur normal M(1978). C'est l'observateur normal 2° CIE (1931), muni en permanence d'un filtre anti-Macula. von Schelling 1950 a examiné divers effets d'un filtre anti-Macula

Conclusion

S'il est vrai que l'oeil possède une trichromie fondamentale, il est également vrai que les manifestations de cette trichromie mettent en évidence des nombres variés de "primaires", c'est-à-dire de lumières, de variables, de fondamentales, de mécanismes, d'objets, etc, nécessaires pour l'analyse et l'interprétation des phénomènes ou pour la pratique de la vie courante.

Ainsi, il n'est pas tout-à-fait vrai qu'avec 3 faisceaux primaires, on peut reconstituer toutes les couleurs: il faut au moins mentionner la nécessité des 2 signes, + et -, et le doublage des faisceaux. D'autre part, la pratique quotidienne de la synthèse soustractive et celle de la synthèse additive réclament un jeu de 6 primaires, 3 ne suffisent pas.

De même, notre vision se fait constamment "à 2^o" et aussi "à 10^o". Les aptitudes de notre oeil dépassent, dans son fonctionnement quotidien et dans l'appréciation du paysage coloré, la trivariance pure et simple.

Cette étude aidera peut-être à mieux comprendre ce qu'est la couleur, cette couleur dont les aspects sont mutuellement interdépendants: vie quotidienne, science, art.

Quant à l'enseignement de la couleur, scientifique, sénécalien, sensoriel, expressionniste ou autre, il pourrait tenir compte de telles observations et remarques. Par exemple, peut-on continuer d'affirmer avec autorité, qu'il y a "3 couleurs primaires dont toutes les autres sont faites: le rouge, le jaune, le bleu ..." ?



Références

- Brevet italien 1976, No 982567
- Tom N. Cornsweet 1970, "Visual perception", Academic, N. Y.
- Pierre Demers 1975, "Le tétraèdre de la tétrachromie", Ann. ACFAS 42 No 1, 173. 1977.1, "Le tétraèdre de la tétrachromie", Color 77 AIC Troy, 518-21, Hilger. 1977.2, "Hexachromie, tétrachromie et invariance dans la perception colorée", Ann. ACFAS 44 No 1, 130. 1977.3, "Nombres magiques en épistémologie", Ann. ACFAS 44 No 1, 142
- R. M. Evans 1974, "The perception of color", Wiley

Ivan Kirouac 1978, "Couleur et peintures", Renc. A.S. Couleur Ann. ACFAS 45
No 4, 34-8

Yves Le Grand 1945, 1965, "Optique physiologique I, La dioptrique de l'oeil
et sa correction", R. Opt. Masson. 1946, 1972, "Optique physiologique II, Lumiè-
re et couleurs", R. Opt. Masson

H. von Schelling 1950, "Effects of filters on color vision", J.O.S.A. 40,
419-23

Guenther Wyszecki et W.S. Stiles 1967, "Color science", Wiley

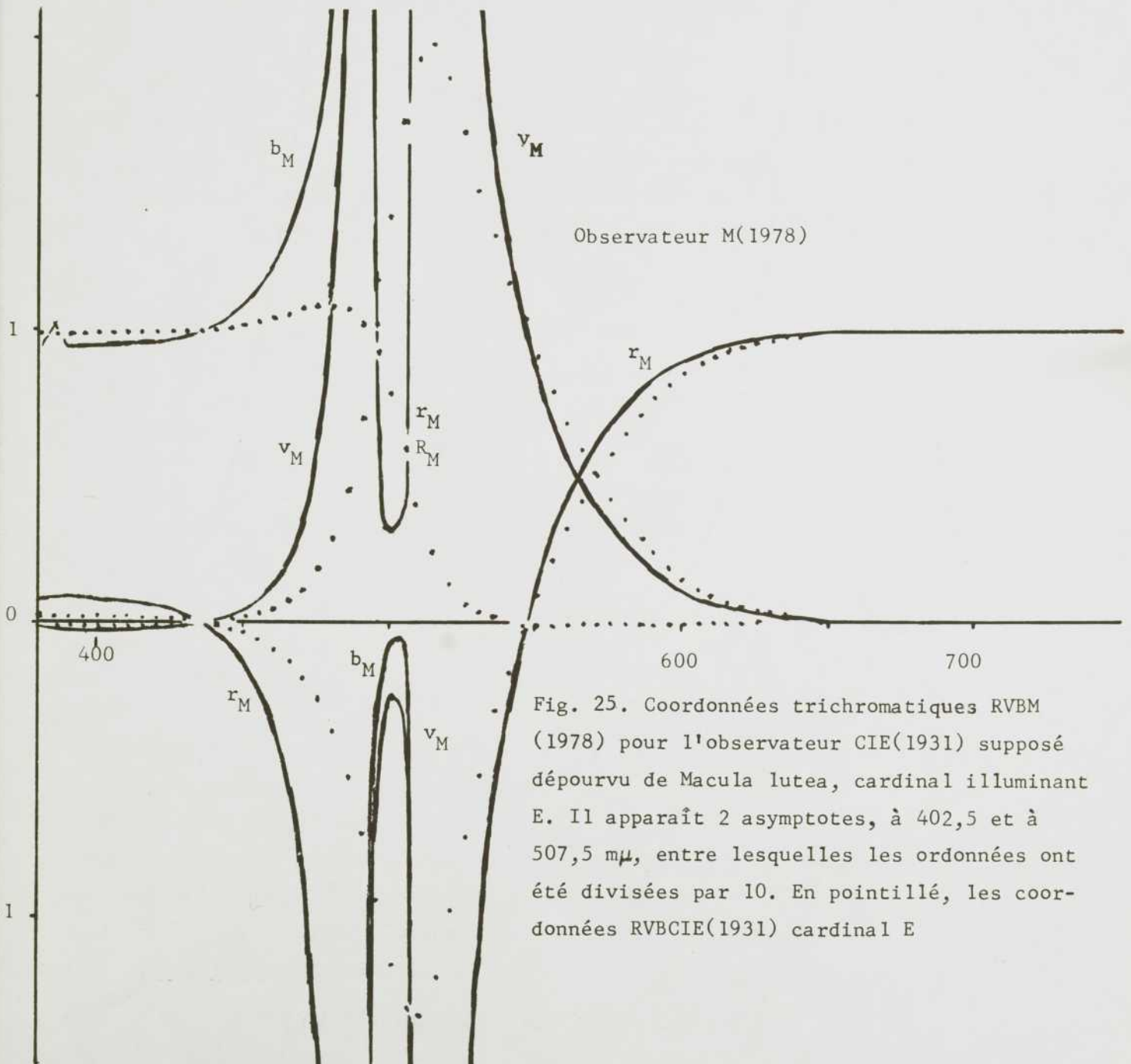


Fig. 25. Coordonnées trichromatiques RVBM (1978) pour l'observateur CIE(1931) supposé dépourvu de Macula lutea, cardinal illuminant E. Il apparaît 2 asymptotes, à 402,5 et à 507,5 μm , entre lesquelles les ordonnées ont été divisées par 10. En pointillé, les coordonnées RVBCIE(1931) cardinal E

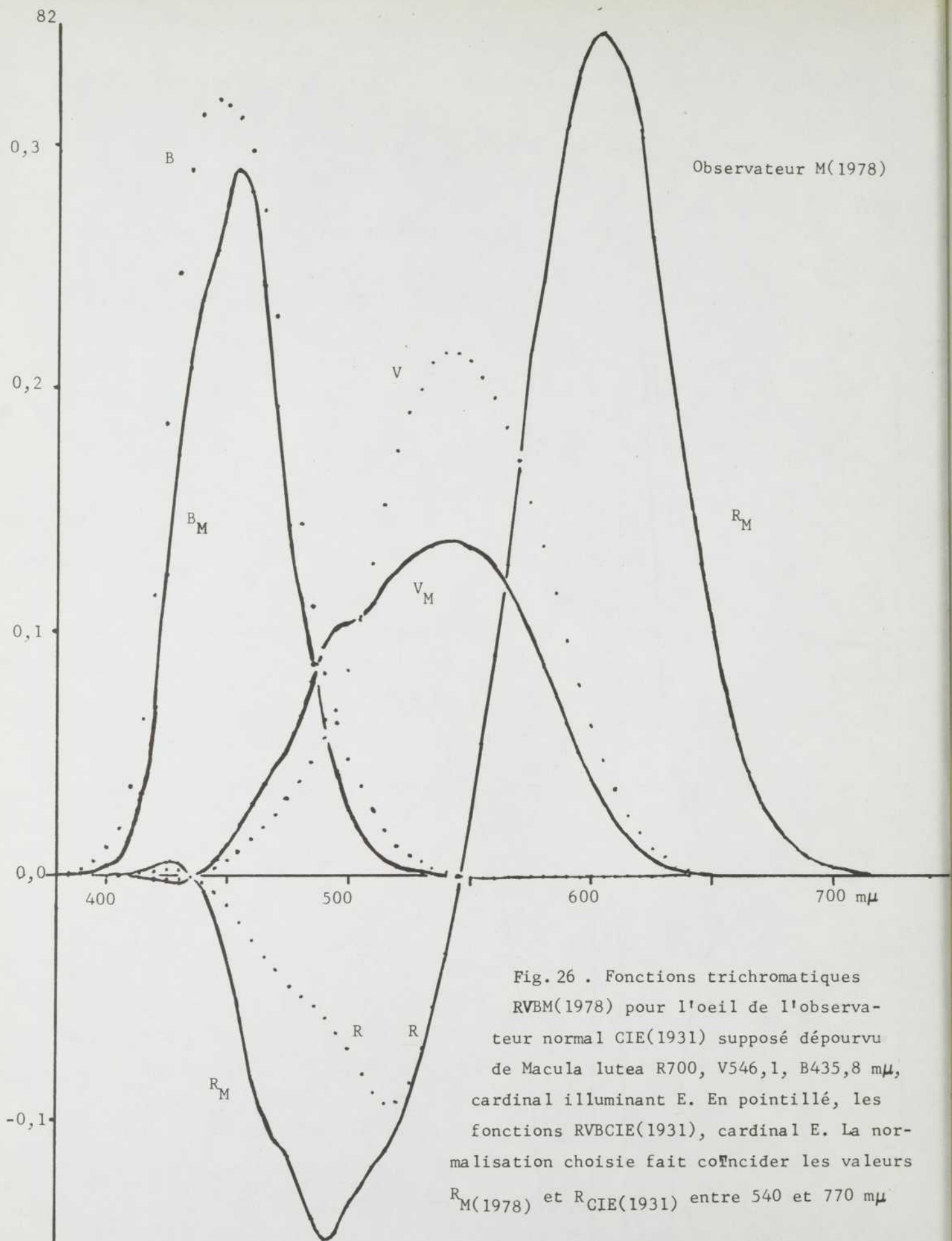
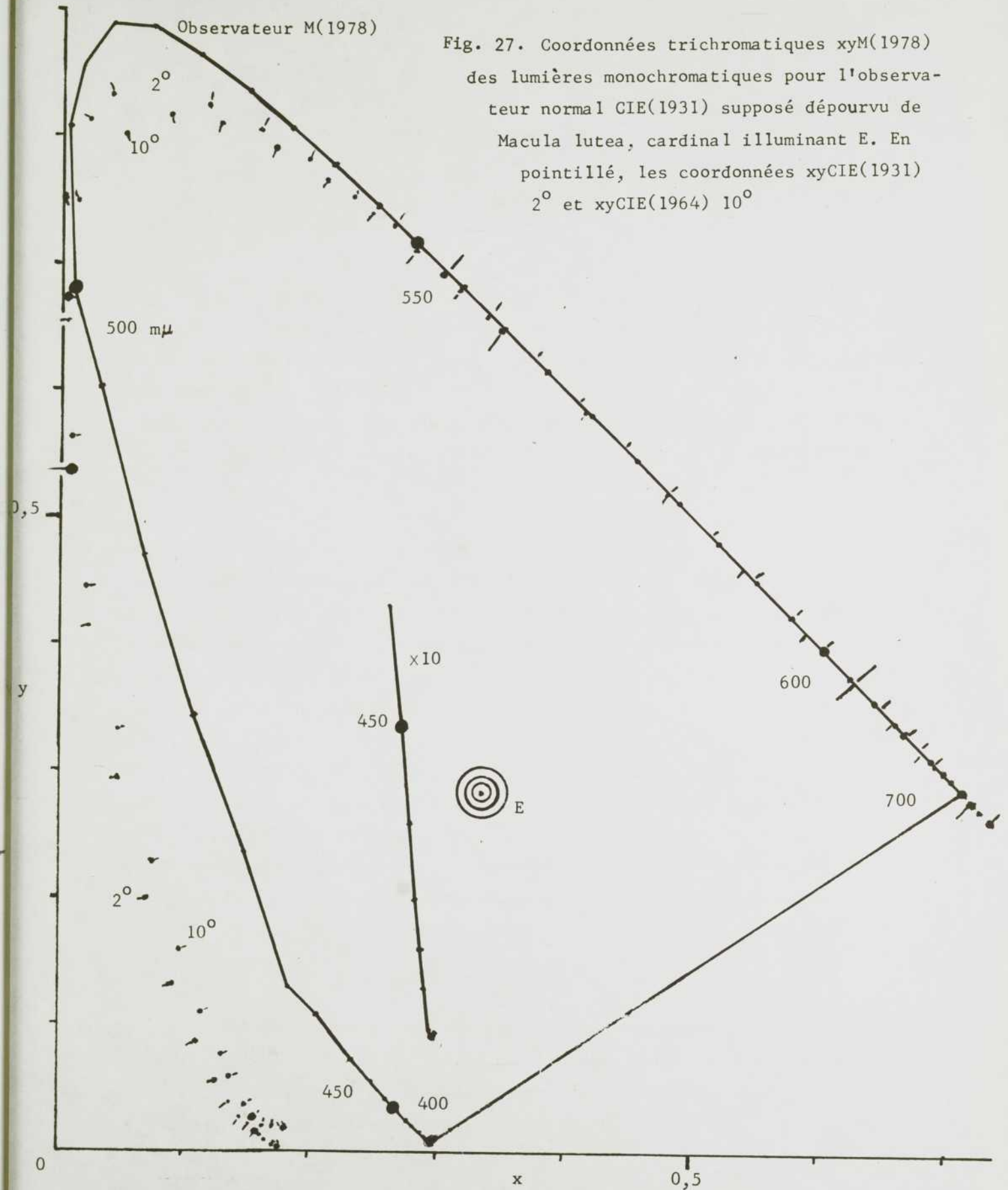


Fig. 26 . Fonctions trichromatiques RVBM(1978) pour l'oeil de l'observateur normal CIE(1931) supposé dépourvu de Macula lutea R700, V546,1, B435,8 mμ, cardinal illuminant E. En pointillé, les fonctions RVBCIE(1931), cardinal E. La normalisation choisie fait coïncider les valeurs R_M(1978) et R_{CIE}(1931) entre 540 et 770 mμ



L'APPROCHE SENSORIELLE DE LA COULEUR DANS
L'ENSEIGNEMENT DES ARTS PLASTIQUES AU NIVEAU COLLEGIAL

Claude Blin

Si l'on considère que, jusqu'à très récemment, l'enseignement des arts était principalement exploré, disséqué et expliqué par des spécialistes des autres disciplines: philosophes, psychologues, sociologues pour une grande part, on ne s'étonnera pas qu'encore, à l'heure actuelle, l'enseignement de la couleur aux jeunes adultes reflète pour une grande part les recherches que les physiciens, chimistes et psychologues lui ont fournies et emprunte aussi à la science ses méthodes.

En tant qu'artiste enseignant, je ne peux que me réjouir de ce que la Science, qui porte sa part de responsabilité dans le glissement d'une éducation humaniste préoccupée du développement du potentiel individuel total vers une éducation technologique rentable où le vécu est expérimenté de seconde main, fournisse des moyens à revaloriser le sens de la vision, un des plus importants et des plus riches dont l'homme soit doté pour appréhender le monde et l'un des plus négligés.

Les recherches ont depuis longtemps mis en évidence la primauté du sensoriel dans la prise de possession de notre univers, l'ajustement progressif à l'environnement, la prise de conscience de soi et la fourniture des objets à l'intelligence. Le sens de la vision ne permet pas que de découvrir et de reconnaître, mais de sentir. C'est une peau sur des doigts projetés à distance.

C'est sur cette dimension esthétique du vivre humain (esthétique signifiant selon Albert Tsugawa: ayant rapport à ce qui est présent immédiatement et sensoriellement à la conscience - l'anesthésie revient à la privation de la conscience des sensations) que s'échafaude la construction de notre monde en intensité et en qualité.

On peut affirmer que notre insertion dans l'univers qui nous est donné, notre équilibre, notre épanouissement dépendent entièrement du degré de développement harmonieux de l'ensemble de nos fonctions sensorielles. De cette ouverture à l'expérience consciente et inconsciente de nos sens qui élaborent nos sentiments, nos émotions, et de leur expression découlent toutes les caractéristiques que l'on relève chez l'individu créatif.

Or le fonctionnement de la vision du jeune adulte semble actuellement souvent limité à celui d'un radar essentiellement programmé pour identifier des choses par leur nom et incapable d'éprouver par exemple leurs formes, matières, textures, poids ou coloration. L'identification du nom prévaut sur les riches sensations dont les objets nous bombardent et lorsque ces sensations sont perçues, elles sont négligées et peut-être refoulées lorsque notre culture ne les valorise pas (1). On ne s'étonnera pas non plus que, devant un éventail d'échantillons, un client soit heureux que le vendeur lui suggère la couleur des rideaux qui ira avec celle du tapis, car même s'il a conscience d'être, par ses sens, il n'a pas tellement confiance en ces derniers et ne peut s'en remettre à son savoir sur la couleur.

L'on peut dire que la société étudiante actuelle dans son ensemble n'a pas été entraînée par son éducation tant scolaire que familiale à prendre conscience de tous ses sens (et en particulier du sens de la vision des couleurs), et à les développer. Si l'on considère que le développement de la personne humaine est un processus poursuivi tout au cours de son existence, dont chaque expérience a des répercussions sur son comportement, la formation de ses concepts et de son intelligence, on ne peut rester silencieux devant le sevrage organisé de la fonction visuelle dans le système d'éducation actuel. En concentrant sur la fonction intellectuelle la presque totalité de son attention, en valorisant la mémoire et le raisonnement au détriment de la sensation, la société contemporaine s'inflige une dramatique atrophie des fonctions

(1) On remarquera sans doute plus facilement la couleur des voitures des amis que celles de leur escalier.

sensorielles et l'on ne saurait dire si une culture de l'image minimisera le mal, aggravera la mutilation ou ne réveillera cette dimension chez l'individu que pour mieux le conditionner.

C'est dire qu'un effort et un intérêt particuliers sont exigés de l'étudiant pour qu'il puisse entamer un dialogue sur un plan visuel élargi à l'expérience sensorielle lorsque la micro-culture de son milieu ne l'a pas développée.

Dans l'enseignement collégial, l'approche intellectuelle de la couleur peut offrir plus que la preuve scientifique, le classement des propriétés, la formulation des lois, l'organisation et l'explication des phénomènes. Elle peut mettre un individu rendu exagérément confiant dans son seul intellect devant une réalité sensible qui, sous bien des aspects aurait dû lui crever les yeux depuis longtemps. Elle peut l'entraîner sur le terrain de sa propre logique au contact d'une insensibilité relative des facultés de perception de la couleur, à la présence d'un monde coloré qui lui a échappé faute de sens en situation d'éveil et dans ce cas signaler un état pathologique qui devrait soulever son inquiétude.

Cependant, l'anesthésie culturelle de la fonction visuelle est d'une telle amplitude qu'elle n'est pas tellement ressentie comme un manque grave au niveau de l'individu, pas plus que ne l'est sans doute la musique électronique pour un sourd de naissance. Pour en sentir le besoin, il faut avoir été en mesure de goûter, d'apprécier et d'en désirer davantage.

L'approche intellectuelle et scientifique de la couleur est certes capable de susciter cet intérêt, cette curiosité chez tout jeune adulte en arts plastiques dont la fonction de perception est demeurée rudimentaire, capable de l'inviter à la découverte d'un domaine et d'un niveau de connaissance intimement relié à la création artistique, d'accroître les informations sur la vision, le cercle chromatique, sa maîtrise de l'association des couleurs dans des rapports donnés, etc...

Mais une approche strictement scientifique ne garantit pas automatiquement l'intériorisation de l'expérience de la couleur. Or celle-ci, comme nous allons le voir, est la condition même de l'activité artistique.

La caractéristique de l'art véritable, en effet ne repose pas sur l'étalement de connaissances. C'est l'expression de sensations et d'émotions au travers de l'activité productrice du créateur et l'oeuvre d'art elle-même est une expérience sensorielle spécialisée en plus d'être une expérience de l'imagination. L'expérience de l'imagination aussi est une expérience sensorielle élevée au niveau imaginatif par un acte de conscience.

Donc, le point de départ même de l'expérience artistique et le développement de l'expérience esthétique sont toutes deux à base de sensations et des projections conscientes de leurs transformations.

L'art étant dans la tête de l'auteur, chose mentale, il n'en demeure pas moins alimenté à la source même des sensations. L'oeuvre elle-même n'est qu'un moyen pour une fin qui est l'expérience totale d'imagination, l'expérience esthétique, et qui permettra au public d'en jouir par une expérience inverse. Cette expérience esthétique qui naît du jeu continu entre des sens éveillés et une intense activité cérébrale conduit simplement à rendre compréhensible à son auteur ce qui a provoqué la mise en chantier de sa réalisation. J'ajouterais que l'on se tromperait en croyant que l'art a pour fin de faire naître des émotions et qu'il repose sur la connaissance des moyens appropriés pour provoquer ces émotions ou ces sensations. Le philosophe Collingwood a nettement depuis longtemps qualifié cette production d'amusement ou de magie relevant de l'artisanat.

Mais, même dans l'éventualité où l'enseignement des arts plastiques se dirigerait exclusivement dans cette seconde direction - et je me demande si ce n'est pas déjà le cas -, la connaissance de ses propres sensations aux lignes, formes, volumes, matières et bien entendu aux couleurs demeurent pour l'artisan, le décorateur, le céramiste ou le graphiste publicitaire, primordiale et prioritaire à la sélection des éléments à mettre en oeuvre pour réussir à provoquer

cette émotion préméditée. On conçoit donc l'obstacle que peut représenter pour l'enseignement des arts une anesthésie socio-culturelle à la couleur et un enseignement de cette dernière qui ne viserait pas une connaissance profondément vécue sensoriellement. Il paraît donc de toute première importance que la couleur, conjointement à toutes les dimensions sur lesquelles un enseignement en art est amené à sensibiliser les étudiants, soit abordée simultanément sur le plan de l'intellect et sur celui de la sensation. Le premier niveau d'approche peut avoir convaincu l'étudiant de croire en la couleur et en ses vertus. Mais dans le domaine de la véritable connaissance, la foi ne peut survivre longtemps sans une expérience intériorisée. C'est-à-dire que cette expérience doit être signifiante. L'étudiant doit être préparé à sentir ses couleurs et leurs associations directement dans le dialogue qu'il mène avec sa surface pour que lui soit révélée, conjointement avec formes et lignes, la solution du problème qui s'imposait à lui lorsqu'il entreprit son oeuvre. Car s'exprimer, c'est rendre ses émotions claires à soi-même d'abord et ce, dans tous les arts autant que dans la vie de tous les jours.

Comparativement à la ligne et à la forme l'approche expressive de la couleur paraîtrait relativement plus facile dans la pratique de l'atelier. En dehors d'exercices gestuels qui peuvent parfois rester au niveau de la gymnastique et du défoulement, les lignes et les surfaces qu'elles engendrent sont longtemps perçues par l'étudiant comme l'abstraction plus ou moins satisfaisante de formes apparentes d'objets existants ou imaginés selon que ces lignes reproduisent plus ou moins fidèlement leurs contours. Elles ne sont pas aisément ressenties en elles-mêmes comme des marques, des traces auxquelles des qualités particulières confèrent une puissance expressive indépendante de ce qu'elles peuvent servir à représenter. Et ceci se comprend assez bien si, parallèlement, l'étudiant n'a que rarement pu percevoir dans les objets qui l'entourent autre chose que des signes propres à identifier leur classe d'appartenance et si l'activité créatrice demeure encore pour lui essentiellement une entreprise de reproduction. L'histoire que racontent les objets qui naissent du jeu de lignes oblitère alors dans son travail l'expression que peut trahir son écriture. Croyant exprimer la violence de la société qu'il porte

en lui, l'étudiant débutant ne comprendra pas facilement que les lignes délicates de son ouvrage puissent être mises en questions puisque les formes qu'elles composent décrivent clairement l'image d'un corps, un couteau dans le ventre. Il sera encore plus surpris d'entendre qu'il aurait été possible d'exprimer cette émotion en dessinant un paysage. En revanche, il acceptera plus volontiers de reconnaître l'inadéquation de tons pastels pour la scène de meurtre. Pour beaucoup, dissocier la couleur de l'objet ne provoque pas tellement d'embarras. Il semblerait que l'on soit plus facilement disposé à s'accorder de liberté avec la couleur qu'avec les lignes de contour. En fait dans l'exemple choisi, l'étudiant n'aurait pas exprimé grand'chose, même si le dessin était admirable et les couleurs de "bon goût". Le contact avec la surface et ce qu'il met dessus ne s'établit pas au niveau sensoriel. L'expérience est réduite au niveau des idées et de la technique. Elle ne lui a rien révélé de cette émotion particulière qu'il aurait eu besoin d'exprimer pour mieux la comprendre.

L'approche des arts plastiques et de la couleur par leur aspect sensoriel et expressif n'est ni facile ni sans risque. Elle suppose de jeunes adultes motivés et conscients de l'existence de leurs sensations, de leurs émotions, désireux et disposés à les laisser surgir à l'occasion de leurs travaux. Quand une théorie est utilisée, il est nécessaire qu'elle soit choisie de telle façon que l'étudiant puisse dissocier facilement le narratif de l'image de l'expressif des éléments picturaux afin qu'il ne cherche pas vainement à vouloir représenter ce qu'il ressent ou ce que l'éducateur voudrait le voir sentir mais bien à l'exprimer sur pratiquement n'importe quel thème de départ. Elle demande de plus un éducateur convaincu de ce qu'il fait, vivant ce qu'il dit, ouvert à lui-même et aux autres dont le langage autant verbal que corporel appuie un enseignement autant que possible expressif et centré sur les étudiants. L'authenticité nécessaire à l'émergence de l'expression après avoir reconnu le caractère sensoriel du dessin et de la couleur ne peut s'épanouir bien grande autrement que dans ces conditions. Lorsque cette expérience est devenue signifiante, l'étudiant comprend le vrai sens du terme lan-

gage, associé à l'adjectif pictural. Car le langage parlé est aussi expression avant d'être signification. Dans sa forme première, il n'aurait même pu être que cela.

Pour être concluante, cette approche, dépendant de facteurs humains, nécessite un temps plus ou moins long. Mais alors, quel est le degré de profondeur de cette expérience? Et son intensité? On ne manquera pas de se poser la question de l'évaluation. Ne se pose-t-elle pas de toutes façons pour tout l'enseignement des arts plastiques? N'a-t'on jamais pensé que l'expérience esthétique, dont le rapport Rioux fait l'objectif premier, puisse, par un enseignement expressif, être d'une nature un peu trop personnelle pour être évaluée par les méthodes behaviouristes conçues pour les sciences?

Depuis le début de l'enseignement des arts, la comptabilité administrative a pesé lourdement sur la déviation des objectifs qui devaient être évaluables. Maintenant, la désintégration en parcelle de savoir ne contribue pas à faciliter une évolution vers sa raison d'être.

L'étudiant, lui, est très capable de sentir ce moment où l'activité artistique prend une dimension nouvelle et l'éducateur perçoit également très clairement le changement dans son attitude, son travail, ses motivations, ses intentions et ses intérêts. Car dessiner ou peindre, c'est se découvrir, se révéler, s'ouvrir à soi-même et aux autres lorsque l'action débouche sur la connaissance. Avec l'expérience sensorielle de la couleur, la relation de l'étudiant avec sa surface a complètement changé. A partir de là, il est en mesure d'intégrer bien plus facilement des informations théoriques et d'acquérir la maîtrise technique sans risquer de confondre les moyens avec les objectifs, ce que entre nous, pourraient bien faire aussi, de temps en temps, ceux qui les guident.

COULEUR ET LIBERTE D'EXPRESSION

Micheline Couture-Calvé

C'est par un souvenir que le rapport couleur/liberté m'est apparu. Lors d'une discussion avec un groupe d'artistes professeurs et le fondateur du Centre québécois de la Couleur, Pierre Demers, nous parlions des connaissances sur la couleur telles qu'exploitées par diverses disciplines et de l'utilisation de ces connaissances dans la société.

Le noir et le blanc. Je me suis souvenue de la censure exercée sur la couleur dans les pensionnats de notre enfance: religieuses et étudiantes étaient strictement vêtues de noir avec un peu de blanc pour l'hygiène. Cette règle du noir tous les jours de la semaine s'étendait au voile et au missel pour la chapelle. Les jours de fête on sortait les voiles blancs, des papiers bleus, les rubans verts, roses ou bleus, symboles de notre appartenance à Jésus, aux Anges ou à Marie.

Cette règle du noir, je l'ai vue transgresser une première fois, plusieurs années plus tard, alors que je donnais un cours d'été à des religieuses dans un collège de Victoriaville. Elles portaient encore le costume noir et la coiffe blanche de leur ordre mais pour venir aux ateliers, elles se couvraient de grands tabliers fleuris aux couleurs audacieuses et contrastantes. Leur visage exprimait un sourire que je n'avais pas vu chez les religieuses de mon enfance. Les expériences et les explorations que je leur proposais avec les pinceaux, la gouache, l'encre ou les bâtons de craie prenaient curieusement des envolées que je n'avais pas imaginées chez une clientèle aussi policée par la règle. Les pouvoirs libérants de la couleur m'étaient confirmés.

"La difficulté qu'ont certains étudiants à travailler avec la couleur vient du fait qu'ils ne savent pas s'exprimer ayant peu de moyens plastiques". Groupe 1978. Cette évaluation simple témoigne d'un fait commun à plusieurs niveaux scolaires. Quand elle est exprimée par un stagiaire ou un maître en exercice chez des élèves qui viennent de terminer le cours primaire, ma réaction est également simple: l'objectif pédagogique à développer dans le prochain trimestre sera de donner des moyens essentiels d'initiation à la peinture. Cepen-

dant, j'avoue que j'ai le vertige si un professeur constate les mêmes ignorances chez des étudiants à l'université. On connaît le profil académique exigé en cours pré-requis en arts pour accéder à l'université.

La peinture. Parmi les disciplines dont la couleur est l'objet, la peinture est la plus ancienne. L'art de la peinture explore les relations qualitatives de la couleur et de la forme. La peinture est essentiellement sélective et ne se donne surtout pas comme but un inventaire exhaustif de la réalité. La peinture témoigne des relations de l'humain avec l'univers à des moments précis de son histoire collective et individuelle.

Approches artistiques. L'approche symbolique de la couleur est exploitée par les romans et les gothiques, c'est un langage non-équivoque pour raconter l'histoire sainte. Aujourd'hui, la couleur-symbole est un code formel utilisé pour la signalisation routière, il assure notre sécurité.

L'approche impressionniste de la couleur veut traduire les apparences visuelles des objets par la reproduction de l'effet de la lumière sur les tons. Cette approche était la plus connue dans les ateliers et les écoles des Beaux-Arts. Elle éduque l'oeil par l'analyse et la construction des tons et des teintes. Encore aujourd'hui elle est perçue comme nécessaire à l'acquisition d'habileté de reproduction du visuel.

Par l'approche expressionniste, la couleur devient le sujet de la peinture. Le tableau exprime les émotions, le choix de forme et de couleur est dicté de l'intérieur. Initiée par Kandinsky, la peinture expressionniste rend compte de la réalité telle que ressentie.

Ce changement de perspective dans l'exploration de la couleur stimule énormément la créativité chez les artistes, elle intéresse les psychologues, rejoint les poètes et les linguistes. La connaissance du tableau s'élargit de théories de la couleur. Le langage plastique tel que nous le connaissons s'élabore pour définir la peinture comme un moyen d'expression du réel et non pas seulement un moyen de reproduction des apparences.

Les professeurs et l'art contemporain. Les travaux de peintres-professeurs tels que Itten, Albers, Klee ont été pour l'enseignement de la peinture ce que Le Corbusier a fait pour l'architecture. Des perspectives nouvelles en peintures, ils ont dégagé des moyens d'apprentissages nouveaux et dynamiques. Leurs travaux tiennent compte de la contribution des peintres contemporains, des découvertes déjà explorées de Goethe et de Chevreul et des lois physiques. Ils répondaient aussi à une attente de changement en quelque sorte commandé par la révolution industrielle.

Les sénécaliens. Plus près de nous, dans notre pays et pendant nos années de formation, nous avons connu le professeur Irène Sénécal. Elle a créé des liens entre les explorations scolaires et l'art contemporain. Les Sénécaliens ont par la suite adopté le langage plastique comme le contenu essentiel à la connaissance de l'art. Cependant, le climat scolaire, la motivation de la clientèle aux arts plastiques et l'isolement dans lequel ces professeurs se trouvent en rapport avec les institutions culturelles, rendent difficile l'aisance et la liberté d'expression plastique dont leurs élèves auraient besoin pour évoluer dans l'exploration artistique du réel. Ce langage plastique est devenu une forme imposée.

Créativité. Une révision du processus créateur pourrait aider à l'assimilation des enseignements et surtout à la libre expression des adolescents. La méthode artistique de recherche prend source dans l'émotion devant un spectacle "extérieur ou intérieur", devant un matériau, une couleur, etc Vidal 1977. La couleur ne "s'apprend" pas à proprement parler, elle ne peut recevoir de nom que si elle est ressentie. Les liens entre l'affectivité et la couleur pourraient se raconter comme une histoire d'amour. "Des goûts et des couleurs il ne faut discuter" dans les lieux où l'on ne parle ni "de la politique, de la religion, ou des femmes"! Voilà deux clichés issus de la même peur de s'exprimer, d'avouer ses émotions, d'être vulnérable. L'expérience artistique est un aveu de ses préférences.

"Let it be". Sur une feuille blanche, il est toujours émouvant de poser la première couleur, l'enfant, l'adulte, l'artiste "professionnel" ressentant la même angoisse et la même joie. Le maître qui voudrait passer outre à la reconnaissance de ces sensations confuses impose une transmission directive

de la connaissance. Il refuse à son élève une étape essentielle à l'expérience artistique et l'empêche de structurer lui-même ses rapports avec la réalité. L'émotion quelle qu'elle soit est alors perçue comme mauvaise et la sensibilité méprisée.

La diversité des réactions individuelles à la couleur est immense. L'intérêt même de l'éducation artistique par la peinture réside dans l'expérience, l'exploration et l'exploitation de ces vues subjectives.

Une méthode. Une méthode d'initiation ne contredit pas son objet. Si le maître se montre rationnel et exigeant c'est: 1- par la distribution équilibrée des ressources matérielles (outils - procédés - supports) selon ses connaissances techniques et l'évaluation des possibilités psycho-motrices des étudiants, 2- par l'animation dynamique du groupe stimulant le désir d'expression par l'évaluation affective des matériaux, l'évocation des visions vécues ou imaginaires, 3- par la proposition de travaux d'explorations diversifiés et des réalisations où l'élève fait des choix intuitifs et rationnels sans inhibition, agrandissant graduellement son registre de moyens d'expression, 4- par l'exposition des travaux en atelier, l'échange et l'appréciation des découvertes pouvant mener selon le cas, à une leçon de choses: nommer et classer les couleurs, connaître leurs caractéristiques, leurs rapports picturaux avec la forme et l'espace, leurs significations complexes, leur rôle dans l'environnement physique et social, etc, ou à une leçon d'histoire de l'art et des hommes.

Cette dernière étape est souvent escamotée au profit du temps de production. Elle est pourtant essentielle au processus artistique pour le développement au delà des moyens plastiques.

La liberté d'expression ressentie par celui qui peint est une liberté acquise grâce à de nombreuses explorations, au moment où il se sent capable de développement. "Imaginer, créer, dépasse et surpasse toute autre forme de plaisir. C'est le plaisir total de l'échange total, le pouvoir de concevoir puis de donner la vie à des créatures de pensée" Vidal 1977.

R E C H E R C H E A R T I S T I Q U E

Emotion

devant spectacle extérieur intérieur

Matériau

↓

Conceptualisation affective

↓

Recherche d'un schéma de formes

↓

Transposition matérielle

Matériaux style

↓

Oeuvre

↓

Evaluation de l'oeuvre

Tiré de Vidal 1977 chapitre VI l'esprit des méthodes

Références

Johannes Itten 1961, "The art of color", Reinhold, New-York

Olivier Revault D'allonnes 1973, "La création artistique et les promesses de la liberté", Klincksieck, Paris

Ignace Meyerson 1957, "Problèmes de la couleur, Exposés et discussions du colloque du Centre de Recherches de Psychologie comparative", SEVPEN, Paris

Dennis Reid 1973, "A concise history of canadian painting", Oxford

Vasarely 1970, "Plasti-cité, l'oeuvre plastique dans votre vie quotidienne", Tomes I et II, Mutations-Orientations, Casterman

Ministère de l'Éducation du Québec 1977, "Livre vert: l'enseignement primaire et secondaire au Québec", dossier 7778-605 code 49.1039, Service général des Communications du Ministère de l'Éducation, Québec

Florence Vidal 1977, "Savoir imaginer", Coll. "Réponses", Laffont

Groupe de Professeurs 1978, "Considérations sociales concernant l'éducation artistique", Vision No 24, Montréal, 4-9 (Jean-Eudes Fallu, Lise Landry, Suzanne Lemerise, Pauline Pinsonneault, Albert Wallot)

L'EMPLOI DE LA COULEUR DANS LA CARTOGRAPHIE THEMATIQUE:
L'OCCUPATION DES TERRES

Pierre Dansereau

Les cartographes ont généralement utilisé la couleur (comme d'ailleurs les trames et les textures) en vue de la lisibilité.

Sur les cartes thématiques, cependant, on a souvent donné une valeur d'interprétation à la couleur. Ainsi, le chaud et le froid, l'humide et le sec dans le cas des cartes climatiques et biologiques.

Il reste à se demander si l'ordre linéaire du spectre chromatique lui-même a été utilisé pour représenter les progressions quantitatives d'un objet ou d'un phénomène.

Quelques cas sont présentés pour illustrer le rôle utilitaire, empirique, interprétatif de ces méthodes: cartes politiques, démographiques, géologiques, climatiques, biologiques et géographiques.

Un système international de classification de l'occupation des terres a récemment été proposé où l'on reconnaît quatre volets principaux, soit: A. La nature (ou le milieu sauvage). B. La campagne (ou le domaine rural). C. L'usine (ou la transformation industrielle). D. La ville (ou l'urbanisation). Les processus écologiques qui animent ces quatre éléments spatiaux majeurs portent une charge d'énergie croissante. C'est pourquoi on a utilisé respectivement le bleu (nature), le vert (campagne), le jaune (industrie) et le rouge (ville).

A l'intérieur de ces divisions majeures, on a reconnu des blocs, qui sont pareillement ordonnés selon le flux d'énergie, soit des teintes pâles aux teintes les plus foncées.

Une série de cartes, montrant des mosaïques fort différentes, illustre diverses combinaisons des forces écologiques dans le paysage.

L'EXPOSITION "UN MUSEE QUEBECOIS DE LA COULEUR"
CONSIDERATIONS MUSEOLOGIQUES

Pierre Demers

Le Symposium-Rencontre des Arts et des Sciences de la Couleur était accompagné de l'Exposition en titre, tenue dans le Laboratoire d'Ethnographie-Anthropologie, obligeamment mis à notre usage grâce au Directeur du Département d'anthropologie, M. Paul Tolstoy. Elle fut ouverte, le 16 mars, après une conférence de presse, par le Doyen de la Faculté des Arts et des Sciences, M. René-J.-A. Lévesque, délégué par le Recteur de l'Université de Montréal, M. Paul Lacoste, qui nous offrit le vin d'honneur. Elle est restée ouverte jusqu'au 21 mars. Elle a attiré près de 250 visiteurs.

Elle faisait suite à 3 autres expériences du C. Q. C.. Au Collège Ahuntsic, le 18 février 1976, "Journée de la Couleur". A l'Université et au Centre culturel de Sherbrooke, les 12, 13 et 14 mai 1976, à l'occasion d'un Symposium sur la Couleur. Au Manoir Richelieu à Pointe-au-Pic, le 10 mai 1977, pendant le congrès annuel de l'Association des professeurs d'Arts plastiques du Québec, "Le Matin de la Couleur".

L'expérience a été vécue comme une sorte de modèle de ce que serait une exposition dans un musée ouvert au public. Au point de vue de sa présentation, elle était évidemment loin d'être ce "musée", mais elle a permis à ses organisateurs et au public spécialisé qui s'est rendu sur les lieux, de mieux l'apprécier, et d'apprendre quoi faire et comment faire pour le rendre intéressant, utile et valable. Notre expérience des 3 dernières années nous suggère un principe que nous croyons de sagesse.

Tout groupe, comprenant des éducateurs, désireux de réaliser un Musée éducatif et scientifique, devrait procéder par étapes successives, en alternant les périodes d'étude, préparation et concertation d'une part, et celles de réalisation concrète d'autre part, afin de profiter chaque fois de l'expérience acquise, et d'utiliser au mieux argent et efforts.

Voici les titres des kiosques et montages réalisés.

Physique

Arc-en-ciel	Bleu du ciel	CHROMOMÈTRES
Colorimètre à miroirs	Colorimètre à 6 primaires	Corps noir
Couleurs de fluorescence	Couleurs des ailes de papillons	
Couleurs d'interférence	Couleurs par polarisation	Diffusion de Mie-LaMer
Holographie trichrome *	Jeu des 3 projecteurs *	Prisme *
Réseau *	Spectres H, Hg, Na	Synthèse additive

Chimie

Atlas de peintures SICO	Azurants dans les tissus	Chromatographie
Collège Ahuntsic	Fixité des matières picturales	Indicateurs colorés *
Normalisation des couleurs au Québec		Plastiques de couleurs
Roches et minéraux	Séparations quadrichromes (imprimerie)	
Synthèse soustractive (filtres)		Teintures naturelles
Tissus de couleurs (Textiles Dominion)		Verres de couleur

Physiologie

Anneaux de diffraction intra-oculaire *		Dépistage CHROMOMÈTRE
Dépistage Farnsworth	Dépistage Ishihara	Dyschromatopsies
Electrophysiologie de la rétine		Schémas de l'oeil
Systèmes de couleurs Hicethier, Munsell, Ostwald		Tétrachromie*

Psychologie

Cabines de maquillage (G.E.) *		Effets de l'éclairage
Effets de post-image	Effet McCollough	

Divers

Cinéma	Couleur dans la décoration	Couleurs des cartes thématiques
Dessins d'enfants	Diaporamas	12 esquisses sur le Musée

* Ahuntsic, Sherbrooke

Dans l'ensemble, cette exposition réalisait une bonne partie du scénario de ce que devrait contenir le Musée projeté, quant à la substance des points forts à démontrer. Il reste beaucoup à faire, pour trouver et réaliser les présentations les plus appropriées, au points de vue création, design et mise en scène et, bien sûr, pour améliorer et compléter cette substance, pour la tenir à jour.

Le Comité a reçu aide et participation à cette occasion, entre autres: Thérèse Bourdon, Françoise Braun, Pierre Dansereau, Jacques de Tonnancour, Gaëtan Ferland, Gaston Pouliot, Paulette-Marie Sauvé; Cie Alpha-Plastiques, Cie Philips, Collège Ahuntsic, Département d'Arts plastiques UQAM, Service des Expositions et Bureau des Normes du Ministère de l'Industrie et du Commerce.

COULEUR ET MATERIEL DIDACTIQUE

Lise Dumais-Bouillon

Dans son processus d'apprentissage du langage visuel, dont la couleur est un élément important, l'activité de l'étudiant en arts doit comprendre une certaine visualisation et une expérimentation des phénomènes portant sur les mélanges-couleurs. Il devient donc important pour un professeur de "couleur" de posséder un minimum de matériel didactique pour dispenser son enseignement de façon efficace et faire en sorte que ses étudiants puissent découvrir un nouveau mode d'expression.

Voici donc proposée ici une liste sommaire de ce que pourraient être les instruments didactiques de base pour l'enseignement de la couleur, compte tenu de la description du cours collégial 510 énoncée dans les cahiers du Ministère de l'Éducation et de la pratique de quelques années d'enseignement:

1. prototype servant à illustrer le principe des mélanges-couleurs obtenus par soustraction;
2. un appareil servant à étudier et à expérimenter la synthèse additive;
3. des disques servant à visualiser des mélanges-couleurs obtenus par rotation à vitesse variable;
4. des séries d'illustrations de phénomènes optique-couleur: a. gradient marginal b. transparence par opacité c. égalisation chromatique d. contrastes simultanés et autres;
5. un cercle chromatique de grande dimension pour l'étude des harmonies;
6. des montages audio-visuels concernant: a. les illusions d'optiques b. la vision c. la théorie trichromatique d. la psychichromie de la couleur.

Bien entendu, il s'agit là d'un choix personnel et d'une liste ouverte. La plupart des éléments de cette liste de matériel didactique doivent être conçus par ou pour le professeur de couleur. Bien sûr, il peut toujours emprunter dans les départements de physique ou de psychologie des appareils réservés à leurs besoins, mais pas spécifiquement conçus pour répondre à des préoccupations d'étudiants en arts plastiques.

Il y a par exemple, sur le marché américain, une boîte à synthèse additive qui permet de constater cette synthèse et d'expliquer les ombres colorées. Cependant, il existe maintenant pour l'étude de la synthèse additive

un appareil plus perfectionné offrant beaucoup plus de possibilités. Il s'agit du CHROMOMÈTRE de M. P. Demers qui peut exceptionnellement très bien convenir à un cours de couleur en arts plastiques et qui est décrit dans Vision No 24, Revue de l'APAPQ, décembre 1977.

Un appareil de ce type, première version, me permet de reconstituer rapidement la synthèse additive, il offre en plus la possibilité de vérifier le rapport quantitatif des trois primaires constituant un mélange additif donné et il fournit à l'étudiant la possibilité d'expérimenter lui-même très facilement ses propres mélanges-couleurs; cet appareil permet également de reconstituer la lumière blanche à partir des trois secondaires additives: le cyan, le magenta et le jaune, qui correspondent par ailleurs à des pigments de base en peinture.

Il est aussi plus efficace pour aborder la synthèse additive, car il me fallait auparavant transporter dans la salle de cours un outillage lourd et encombrant: 3 projecteurs à diapositives, 3 rhéostats, des filtres et un écran diffusant. Donc avec le CHROMOMÈTRE, il y a économie de temps et de moyens et surtout une polyvalence dont je n'ai peut-être pas encore épuisé toutes les possibilités. La deuxième version du prototype semble ajouter aux avantages de la première, la possibilité d'obtenir des couleurs désaturées par des variations d'intensité lumineuse. Je considère maintenant cet appareil indispensable à l'enseignement et à l'expérimentation de la couleur.

Le besoin d'enrichissement du matériel didactique découle d'une part, des objectifs d'enseignement du cours de couleur: développer l'aspect cognitif des phénomènes de la couleur chez l'étudiant, le sensibiliser à ses effets d'interaction; d'autre part, d'une lacune en ce qui concerne le rayonnement de l'information disponible dans le milieu de l'enseignement.

Références

CQC 1977, "Le Centre québécois de la Couleur (CQC): Deuxième anniversaire .. Avril 1975 - Avril 1977", Vision No 24, 10-15

Pierre Demers 1977, "Le CHROMOMÈTRE, instrument éducatif nouveau destiné à l'enseignement de la couleur", Ann. ACFAS 44 No 1, 142

UNE EXPERIENCE D'EDUCATION POPULAIRE: LA SOCIETE D'ANIMATION
DU JARDIN ET DE L'INSTITUT BOTANQUES DE MONTREAL

Michel Famelart et Pierre Bourque

Les organisateurs de cette rencontre nous ont demandé de vous livrer, dans le cadre de la session portant sur " le rôle d'un Musée québécois de la Couleur", l'expérience que nous vivons depuis trois ans, au Jardin botanique de Montréal.

A notre avis, chaque fois que l'on songe à mettre sur pied un Musée, et c'est sans doute le cas aujourd'hui avec le Centre québécois de la Couleur, les initiateurs de tels projets sont, tôt ou tard, infailliblement confrontés à des questions d'orientation qui, réduites à leur plus simple expression, pourraient ainsi être formulées: doit-on mettre l'accent sur l'aspect populaire et spectaculaire d'un tel centre - et ici nous pensons au Planétarium ou à l'Aquarium de la Ville de Montréal - ou faut-il plutôt insister sur l'aspect scientifique et sur la recherche comme c'est le cas, par exemple, pour la collection de Paléobotanique du Musée Redpath ou pour la collection entomologique du Département des Sciences biologiques de l'Université de Montréal. Entre ces deux extrêmes se glisse toute une gamme d'intermédiaires que l'on peut facilement imaginer.

Notre intervention voudrait, à partir de l'expérience récente que nous vivons à la Société d'animation du Jardin et de l'Institut botaniques de Montréal, insister sur le rôle que peut avoir l'ANIMATION dans un tel organisme et, plus particulièrement, sur la PARTICIPATION - sur la participation EFFEC-TIVE du public intéressé, de bénévoles disponibles - à la vie de l'organisme, à son orientation et à l'élaboration de ses différentes politiques.

Engagée depuis à peine trois ans dans le domaine de l'éducation populaire, la Société d'animation du Jardin et de l'Institut botaniques de Montréal (S.A.J.I.B.) n'a ni l'expérience pour porter un jugement sur l'ensemble des problèmes reliés à l'éducation populaire - d'autres diraient à l'éducation permanente - ni la prétention de le faire.

Née de circonstances particulières et évoluant dans un milieu privilégié - le complexe Jardin botanique-Institut botanique - la S.A.J.I.B. voudrait modestement participer à cette réflexion simplement en apportant le témoignage de son existence et de son cheminement où se reflète une dynamique et une philosophie susceptibles d'aider à l'éclosion d'autres associations ou d'autres mouvements similaires. C'est sur ce plan que veut se situer notre communication dans le cadre d'un colloque sur la Couleur: un Centre québécois de la Couleur ou un Musée québécois de la Couleur pourrait avoir et, à notre avis, devrait avoir un rôle important à jouer dans le domaine de l'éducation populaire et de l'animation.

Le complexe Jardin botanique-Institut botanique est unique au Québec. Ce complexe, peu de citoyens le savent probablement, est constitué de deux institutions: le Jardin botanique de la Ville de Montréal et l'Institut botanique de l'Université de Montréal (une section du département des Sciences biologiques). Ces deux institutions ont développé d'importantes ressources: en plus des serres et des jardins extérieurs que tous connaissent sans doute, mentionnons l'Herbier Marie-Victorin, un des plus importants pour le nord-est de l'Amérique du Nord, deux bibliothèques spécialisées, des collections pédagogiques, des laboratoires de recherche et d'enseignement, etc. Ce complexe a pris forme il y a plus de quarante ans, grâce à la ténacité d'une poignée d'hommes et de femmes désireux de permettre à des milliers de québécois d'apprivoiser, par l'étude, la recherche et l'enseignement les composantes physiques rattachées au monde végétal de leur pays. Ce long travail de Marie-Victorin et ses disciples, couronné par la publication de la Flore laurentienne et la création du Jardin et de l'Institut botaniques, place sans doute ce dernier sur un pied d'égalité avec Lionel Groulx, Édouard Montpetit et Esdras Mainville comme précurseurs de la perception et de l'acquisition de notre identité nationale.

Conscients du contexte socio-économique du Québec des années quarante, Marie-Victorin et ses disciples se sont attardés à la formation de la jeunesse: Cercles des Jeunes Naturalistes, Ecole de l'Eveil, Jardinets d'écoliers, Radio-Collège, etc. D'autre part, quelques scientifiques, compagnons ou élèves de Marie-Victorin, réussirent dès cette époque à apporter à la science universelle un témoignage d'ici.

La réceptivité du milieu québécois fut cependant lente à venir et, si le Jardin et l'Institut botaniques ont consolidé au cours des années cinquante et soixante les acquis de la première génération, leur rayonnement et leur impact dans le milieu furent moins spectaculaires. De plus, comme c'est trop souvent le cas dans la vie de nombreuses institutions, à la période d'enthousiasme, d'élan et de dynamisme succédèrent, pour des raisons qu'il n'est pas de notre propos d'analyser ici, des années de ralentissement qui affectèrent principalement, et surtout, le rayonnement populaire des deux institutions.

Bien que chacune d'elles croyait fermement au rôle et au rayonnement que devait avoir un tel complexe auprès de la population, chacune se renvoyait la balle: l'Université de Montréal, avec son Institut botanique, réalisant sa vocation par l'enseignement supérieur et la recherche, laissait volontiers cette tâche à la Ville de Montréal; celle-ci, de son côté, par l'imposant budget et le personnel nombreux affectés au maintien et à l'enrichissement de ses multiples collections, estimait avoir amplement fait sa part.

Fondation de la S.A.J.I.B.

Au détour des années 70, des milliers de personnes, jeunes et moins jeunes, se mirent à la découverte de leur environnement. La nature, longtemps considérée comme hostile par plusieurs, se fit plus tendre, plus accessible, méritant d'être protégée.

Dans cette perspective, les immenses richesses tant matérielles qu'humaines (bibliothèques, herbier, collections, horticulteurs, chercheurs, etc), rassemblés au Jardin et à l'Institut botaniques, apparaissaient nettement sous-exploitées. Et il ne fallait compter ni sur une action directe de l'Université, ni sur celle de la Ville, pour rendre à ce complexe tout le rôle et le dynamisme qu'il devait avoir dans la société québécoise.

En juillet 1975, des professeurs de l'Institut, des horticulteurs du Jardin et des citoyens de différents milieux jetaient les bases de la S.A.J.I.B., cette SOCIÉTÉ POPULAIRE, cette SOCIÉTÉ DE PARTICIPATION, appelée à servir de lien entre le milieu québécois et ce centre scientifique et culturel.

Les buts et les objectifs de la Société ont été faciles à définir; ils

ont été et demeurent étonnamment vastes, à la mesure des besoins qu'ils doivent combler. Il s'agit de: - diffuser des connaissances en botanique et en horticulture à ses membres et à la population en général à partir des ressources du Jardin et de l'Institut botaniques - présenter et vulgariser les différentes composantes du Jardin et de l'Institut botaniques, telles que les jardins spécialisés, les collections, l'herbier, etc - faire connaître et valoriser la flore québécoise - informer ses membres des progrès et développements dans les domaines de la botanique, de l'horticulture et de l'étude de l'environnement - contribuer à l'amélioration du milieu naturel.

La S.A.J.I.B. n'est donc pas née de la volonté de quelques individus, mais plutôt d'un besoin pressant du milieu. C'est sans doute la raison de sa réussite. Elle compte actuellement plus de 1500 membres; mais là n'est pas son principal succès.

Chaque année, depuis sa fondation, la S.A.J.I.B. tient un colloque au cours duquel les membres expriment leurs besoins et leurs désirs. C'est à partir de ces besoins et SURTOUT avec la PARTICIPATION ACTIVE des membres, que les différentes activités sont organisées, le personnel de l'Institut et du Jardin servant de personnes-ressources.

Sur ce point la S.A.J.I.B. est non seulement une société d'animation mais surtout, et nous y tenons beaucoup, une société de PARTICIPATION: tout citoyen, quelle que soit sa formation, peut y participer et y contribuer selon ses ressources personnelles, ses disponibilités et ses goûts. On peut actuellement évaluer à plus de 200 le nombre de ceux qui, par leur action et leur dévouement, font vivre la S.A.J.I.B. Les services ainsi rendus bénévolement à la Société par ses membres sont inestimables et il est bon d'en énumérer quelques uns: - animation des sorties et laboratoires des différents comités - étude approfondie de certains groupes de végétaux - cours, démonstrations et préparation de textes de vulgarisation - service de visites des serres pour le grand public, allant des jeunes des écoles primaires aux groupes de l'Age d'Or - tâches administratives diverses comme celles du secrétariat, de la trésorerie, de la préparation des conférences, des expositions, de l'herbier, etc.

C'est à ses membres et à leur dynamisme que la S.A.J.I.B. doit ses principales réalisations, parmi lesquelles il faut mentionner: - mise sur pied et animation de 5 comités d'activités (Flore québécoise, Plantes utiles, Horticulture ornementale, Plantes d'appartement, Bonsai). Chaque comité organise des séances d'échange et de travail à des intervalles très rapprochés (d'une à quatre fois par mois) - publication d'un bulletin de vulgarisation de 50 à 60 pages, en horticulture et en botanique, paraissant quatre fois par année, et d'un feuillet de liaison paraissant à tous les deux mois - accomplissement de plusieurs projets à dimensions culturelles et scientifiques comme l'inventaire du patrimoine végétal méconnu du Québec, la valorisation de l'Herbier Marie-Victorin, les visites guidées dans les serres et les jardins extérieurs - participation à plusieurs expositions de caractère public, par exemple, à la place Bonaventure et à la place Desjardins - expéditions régulières sur le terrain à la découverte des principaux groupes écologiques du sud québécois - permanence continue du local - nombreuses prises de position pour la conservation des espaces verts et l'établissement de grands parcs urbains et péri-urbains.

Les membres viennent au Jardin pour apprendre et pour échanger leurs expériences; ils s'aventurent dans les serres de service, les bibliothèques, l'herbier; ils ont réussi à dépoussiérer certains coins bien cachés du Jardin et à démystifier l'auréole de chasse gardée qui enveloppait le Jardin et l'Institut botaniques. En plus de faire sortir les professeurs de leurs laboratoires et les horticulteurs de leurs serres, nos membres ont créé entre eux un climat de fraternité et d'altruisme assez remarquable de nos jours.

Les besoins de la population

Après trois ans d'activités et trois colloques d'orientation, il nous est possible de tracer une esquisse générale des besoins de la population. Cette esquisse pourrait peut-être servir à tout autre organisme, comme à un Centre québécois de la Couleur, dans la réalisation de son action auprès de la population et surtout AVEC la population.

Nous pourrions mieux saisir les diverses activités que peut exercer une société en imaginant une pyramide (fig 1) où chaque palier représente une catégorie d'individus et le type d'activité qui répondra à ses besoins. Voyons

rapidement les différents paliers en allant de bas en haut.

1. Le premier palier, la base de la pyramide, est constitué par la population en général. A la S.A.J.I.B., nous croyons avoir un rôle à jouer sur ce plan ne serait-ce que par l'information au moyen d'expositions, de communiqués dans les journaux, d'émissions radiodiffusées ou télédiffusées, de conférences publiques, etc. Cependant notre action à ce niveau, bien qu'importante, ne nous apparaît pas prioritaire et, compte tenu de la limitation de nos ressources, nous choisirons minutieusement nos modes d'intervention.

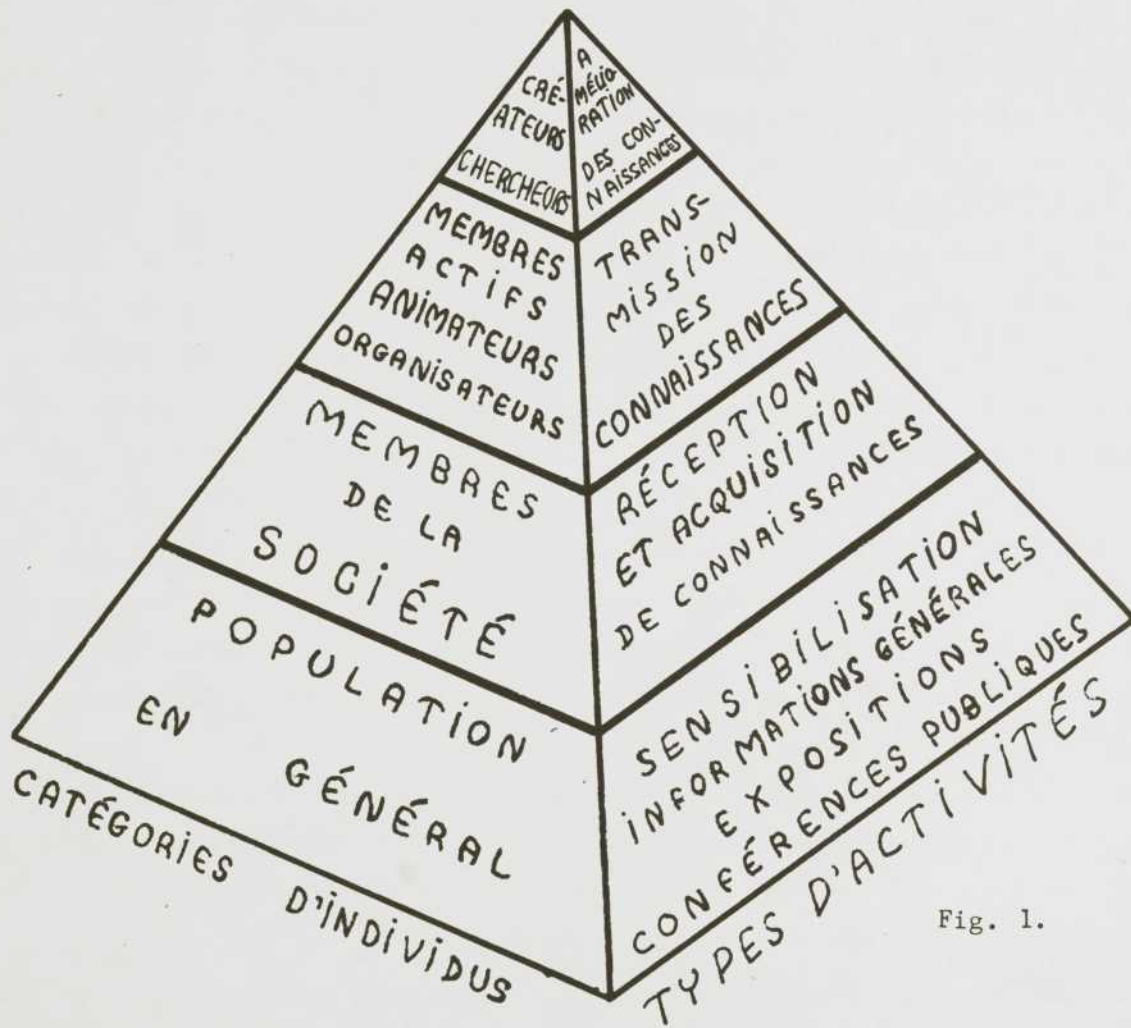


Fig. 1.

2. Le second palier de la pyramide est composé de l'ensemble des membres de la Société. C'est là notre principale raison d'être. La majeure partie de notre programme d'activités, causeries, ateliers, excursions, laboratoires, bulletin, etc, est élaborée pour répondre aux besoins précis de ces membres. D'ailleurs, rappelons-le ici, dans notre cas, ce sont les membres eux-mêmes

qui orientent les programmes d'activités lors des colloques annuels.

3. L'étage suivant est constitué des animateurs, conférenciers, moniteurs d'excursions et de laboratoires, auteurs d'articles, etc, en un mot, ceux que la mode actuelle nomme "personnes-ressources". Dans beaucoup d'organismes, ces personnes qui TRANSMETTENT les connaissances constituent un groupe à part (professionnels, permanents, moniteurs diplômés, etc), un groupe de personnes qui est bien distinct de celui du palier précédent constitué par les personnes qui RECOIVENT. A la S.A.J.I.B., nous tenons beaucoup à ce que les membres eux-mêmes, selon leur disponibilité et leur champ d'intérêt, deviennent les animateurs, les "personnes-ressources". Cette façon de procéder suscite beaucoup d'intérêt et d'initiatives chez nos membres, tout en augmentant notre capacité d'enseignement: en effet, des "élèves" des années précédentes deviennent, à leur tour, "enseignants". Nous croyons que des personnes intéressées, ayant acquis les connaissances nécessaires soit par nos cours, ateliers, laboratoires, soit par des méthodes autodidactes ou autres peuvent très bien devenir des pédagogues de qualité sans être passés par les maillons classiques des collèges et des universités ... et sans détenir certificats, diplômes ou doctorat.

4. Le dernier palier, le sommet de la pyramide, est occupé par une catégorie de membres qui manifestent un intérêt spécial pour ce qu'on pourrait appeler "l'amélioration des connaissances". Nous croyons fermement que certains de nos membres possèdent les qualités nécessaires pour participer, seuls ou en groupes de recherche, à l'effort scientifique et contribuer à l'avancement des sciences. Dans une société qui a atteint un certain développement économique, social et culturel, comme c'est le cas du Québec contemporain, de telles vocations devraient spontanément naître chez les amateurs ou les non-professionnels.

Il y a en botanique, assez de domaines peu ou mal connus - par exemple dans le groupe des Lichens, des Champignons, des Mousses et même chez les plantes vasculaires - où un amateur peut, par un travail patient et soutenu, devenir un spécialiste, et même, un spécialiste international. L'exemple existe dans nombre d'autres pays.

Ce que nous disons pour la botanique vaut sans doute pour toute autre discipline.

Devons-nous préciser que le mot AMATEUR est pris ici dans son sens plein; par amateur nous entendons évidemment une personne qui consacre à une activité une partie de ses loisirs, un NON-PROFESSIONNEL, par opposition à la personne rémunérée pour accomplir la même tâche, le professionnel.

Vis-à-vis de cette catégorie de membres, le rôle de la S.A.J.I.B. est de susciter et de favoriser l'éclosion de telles vocations en rendant disponibles et accessibles les ressources du Jardin et de l'Institut botaniques: bibliothèques, herbiers, collections diverses, instruments scientifiques, conseils de spécialistes, etc. Déjà, chez nous, quelques groupes de recherche sont sur pied; une communication scientifique émanant d'un de ces groupes sera présentée lors du prochain congrès de l'ACFAS à Ottawa Lacombe et al 1978.

La S.A.J.I.B. tient énormément à jouer un rôle sur ce plan. Si les innombrables ressources du Jardin et de l'Institut botaniques purent être réunies grâce aux impôts des contribuables, il est bien normal que les citoyens qui en ressentent la vocation puissent les utiliser, même et je dirais SURTOUT - s'ils n'ont pas eu le privilège de passer par toutes les étapes de la formation universitaire.

Pour terminer cette vue de la pyramide, il n'est peut-être pas inutile de mentionner que, pour des raisons de clarté, nous avons décrit quatre paliers distincts; il n'y a cependant pas de démarcation bien nette d'un étage à l'autre; on peut passer de l'un à l'autre imperceptiblement, par transitions.

Enfin si la S.A.J.I.B. a décidé de s'intéresser prioritairement aux trois étages supérieurs de la pyramide, tout intervenant à l'occasion à la base, d'autres organismes procèdent autrement. Pour reprendre les exemples du début, nous pourrions dire, selon ce schéma, que le Planétarium de la Ville de Montréal s'intéresse à peu près uniquement à la base de la pyramide alors que la Collection entomologique de l'Université de Montréal n'existe que pour son sommet.

Ainsi ce sera à chaque groupement, à chaque institution, association ou centre à définir, selon ses ressources, ses énergies et ses buts, ses politiques d'intervention.

Conclusion

Mais il n'en demeure pas moins qu'à notre avis, un organisme qui veut jouer PLEINEMENT son rôle auprès de la population devrait tenir compte de deux facteurs: 1. l'étagement pyramidal des besoins et des disponibilités de la population, en ayant soin de DEVELOPPER HARMONIEUSEMENT TOUS LES PALIERS 2. la PARTICIPATION EFFECTIVE des citoyens aux politiques et à la vie de l'organisation.

Références

- C. Lacombe, H. Bernard, M.-V. Dupuis, S. Forget et M. Lebeau 1978, "Inventaire des gros arbres du sud du Québec", Ann. ACFAS 45 No 1, 32
- Marie-Victorin 1935, 1964, "Flore laurentienne", F. E. C. P. U. de M.

POLARISATION DE LA LUMIERE
MOYEN D'ACTION

Maurice-G.-V. Macot

En employant des pigments colorés, le plus souvent, déjà fabriqués, l'artiste crée une couleur et la juxtapose à d'autres couleurs également créées par lui.

Certaines disciplines scientifiques étudient les couleurs et en tirent un certain nombre de conclusions sur la lumière.

Entre ces deux pôles, et dans ces deux pôles également, il y a des pédagogues, des enseignants, des éducateurs qui ont la tâche ingrate de faire la synthèse de ces deux champs de recherche.

Dans la pratique, et plus spécialement dans les cours d'arts plastiques, le souci de la couleur est en fonction de la perception de la couleur de certaine matière colorée (pure ou mélangée), le plus souvent réduite à trois ou quatre couleurs de base. Le côté physique de la lumière est peu approfondi et le plus souvent négligé, nous proposons une approche différente, de manière à obtenir des paramètres plus nombreux pour la compréhension des couleurs.

En effet, si l'on voit que l'étudiant s'intéresse à la couleur et par conséquent à la lumière, il faut l'amener très tôt à percevoir les aspects de ce problème lumière-couleur, qui se réduit à deux choses, longueur d'onde-pigment.

En mélangeant des couleurs, on voit un résultat, mais on ne comprend pas toujours le pourquoi de ce résultat. En ne s'occupant que de la lumière, on comprend le phénomène, mais on ne le voit pas (si ce n'est sous une forme théorique). (Fig. 1).

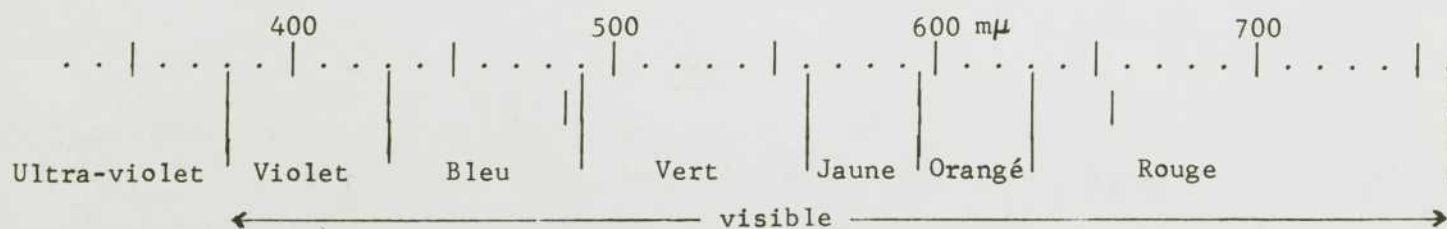


Fig. 1. Le spectre visible

A notre avis, on doit étudier les deux théories. La couleur est en elle-même un domaine très complexe. La perception des couleurs demande également une étude aussi complexe, sinon davantage. "... Dans la perception visuelle une couleur n'est presque jamais vue telle qu'elle est physiquement. Cette constatation fait de la couleur, le moyen d'expression artistique le plus relatif". Josef Albers, "L'interaction des couleurs".

En effet, bien des choses se passent depuis la fabrication d'un pigment, son traitement pour en faire une couleur et l'action de celle-ci dans un message visuel.

Chaque individu interprète sa perception des couleurs suivant ses schèmes personnels. Il nous semble nécessaire de donner à l'étudiant et ce, le plus tôt possible, "un acquis de référence" concernant tout ce qui se rapporte à la couleur, par conséquent à la lumière. "... Il faut bien admettre qu'on naît avec une imagination plus ou moins développée, plus ou moins riche: la carence d'images pourra être compensée, à condition de chercher sans arrêt à lui substituer le foisonnement de combinaisons colorées que nous suggère notre "conscience imageante". En d'autres termes: si vous voulez développer votre imagination, la réponse est en vous, devant vous, à votre portée. Il suffit de regarder, d'emmagasiner des perceptions visuelles, auditives, olfactives, de s'efforcer tout le temps de faire travailler son esprit, dans la recherche perpétuelle de nouvelles associations d'images et d'idées". Denis Huysmans, la "psycho en bandes dessinées". Et comme disait Henri Delacroix: "Pour trouver sans chercher, il faut d'abord avoir cherché sans trouver".

Nous proposons une solution qui permettrait dans certains cas à un certain niveau de se familiariser avec les deux champs de recherche cités plus haut, ou à un champ de recherche par rapport à l'autre, cette approche très simple permet à l'étudiant de se familiariser avec toute une gamme de couleurs pures* ainsi que leurs complémentaires exactes et cela dans des tons différents directement générés par la polarisation de la lumière.

En employant deux filtres polarisateurs croisés, on bloque le passage de la lumière (donc de la couleur). Si l'un des polarisateurs pivote sur un axe central et sur un même plan, on débloque progressivement le passage de la lumi-

* Sans être spectrales. N. d. l. r.

ère (donc de la couleur). (Fig. 2).

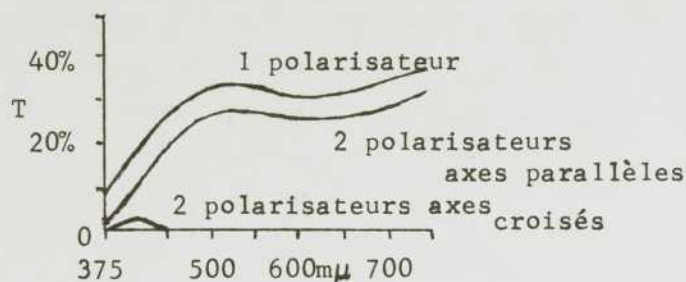


Figure 2.
Les polarisateurs

Certaines matières permettent de bloquer ou de débloquent l'effet des polarisateurs, certaines matières permettent de laisser passer certaines longueurs d'ondes et d'en bloquer d'autres. Ce qui permet en déplaçant sur un axe central un des deux polarisateurs de faire apparaître une grande variété de couleurs.

Il est donc assez facile en parlant de couleur, couleur complémentaire, couleur primaire, longueur d'onde, lumière, tonalité, etc ... de faire une synthèse de ces deux champs de recherche.

Processus de filtration sélective de la lumière

Il s'agit de polariser une source de lumière artificielle ou naturelle, en superposant deux polarisateurs. Nous obtenons soit une diminution de la lumière transmise 1 qui est la conséquence de l'absorption de la lumière par les matières composant les polarisateurs, soit pratiquement l'extinction de la lumière 2, soit l'extinction partielle de la lumière 3. Ces trois conséquences sont le résultat de la manière dont les polarisateurs sont placés. Les molécules sont toutes dirigées en longues chaînes parallèles formant une espèce d'écran ligné. La grande majorité des polarisateurs vendus dans le commerce est du type "dichroïque". (Fig. 3).

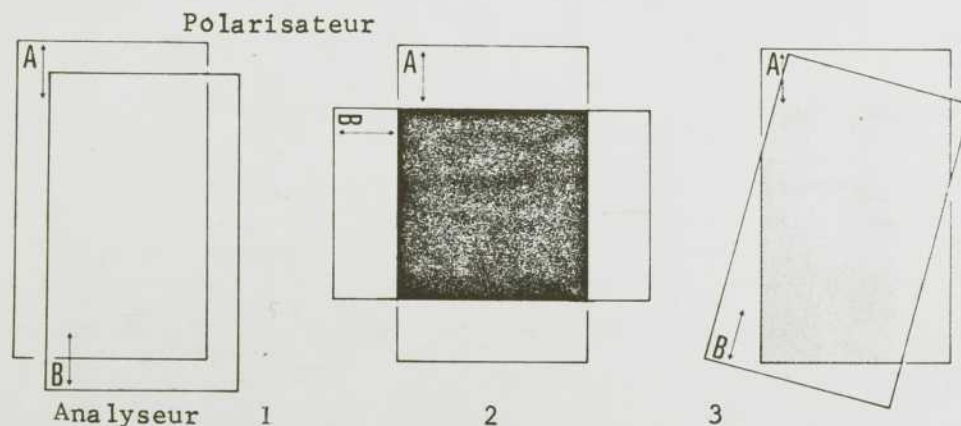


Figure 3.
Pas de substance

Quand on superpose deux polarisateurs, généralement le premier s'appelle polarisateur et le second, celui du dessus, l'analyseur. Dans nos dessins, la direction des polarisateurs est indiquée comme parallèle à l'un des côtés du rectangle. On ne doit pas en conclure qu'il en est ainsi pour tout polarisateur, surtout si on les découpe dans de grandes surfaces polarisantes. Il faudra faire l'épreuve de directions.

Si l'on place l'un par dessus l'autre deux polarisateurs de façon que la lumière ne passe pas à travers ceux-ci, c'est qu'ils sont croisés à 90° (2). Il passe quand même un peu de lumière, les polarisateurs croisés $\begin{array}{|} \text{---} \\ \text{---} \end{array}$ ne suppriment pas totalement la lumière, mais cela ne pose pas de problème pour nos démonstrations. Pour être bref, nous dirons que la lumière admise par le polarisateur inférieur $\begin{array}{|} \text{---} \\ \text{---} \end{array}$ est refusée par le polarisateur supérieur --- (analyseur) et vice-versa.

Pour obtenir une gamme de couleurs, il suffit de placer un cristal anisotrope entre les deux polarisateurs. Comme nous n'employons pas de cristaux, nous appellerons substances les matières dont nous nous servirons. En effet, ces substances tout en étant anisotropes ne sont pas classées, par tous, comme cristaux.

Tous les genres de cellophane sont anisotropes. Les "baggies" ainsi que le "stretch'n seal" préalablement étirés, donnent des couleurs chatoyantes ainsi que leurs complémentaires en passant par toute une gamme secondaire.

Si l'on place un ruban de scotch tape (substance anisotrope) entre deux polarisateurs, si les polarisateurs sont parallèles --- entre eux ainsi que le ruban --- on ne percevra pas de couleur (4) fig. 4. Si le polarisateur --- et l'analyseur $\begin{array}{|} \text{---} \\ \text{---} \end{array}$ sont croisés, le ruban étant parallèle au polarisateur --- la lumière ne passe pas et par conséquent nous ne percevrons pas de couleur (5). Si les polarisateurs sont croisés $\begin{array}{|} \text{---} \\ \text{---} \end{array}$ sous un angle plus petit que 90° , la lumière est perçue relativement à l'angle formé entre le polarisateur et l'analyseur mais on n'obtient pas de couleur (6).

Pour obtenir des couleurs, il faut que notre ruban de scotch tape fasse un angle de 45° avec le polarisateur et l'analyseur, si ceux-ci sont en direction parallèle (7) fig. 5, on obtient généralement un bleu, s'ils sont croisés $\begin{array}{|} \text{---} \\ \text{---} \end{array}$

on obtient un jaune (complémentaire) (8).

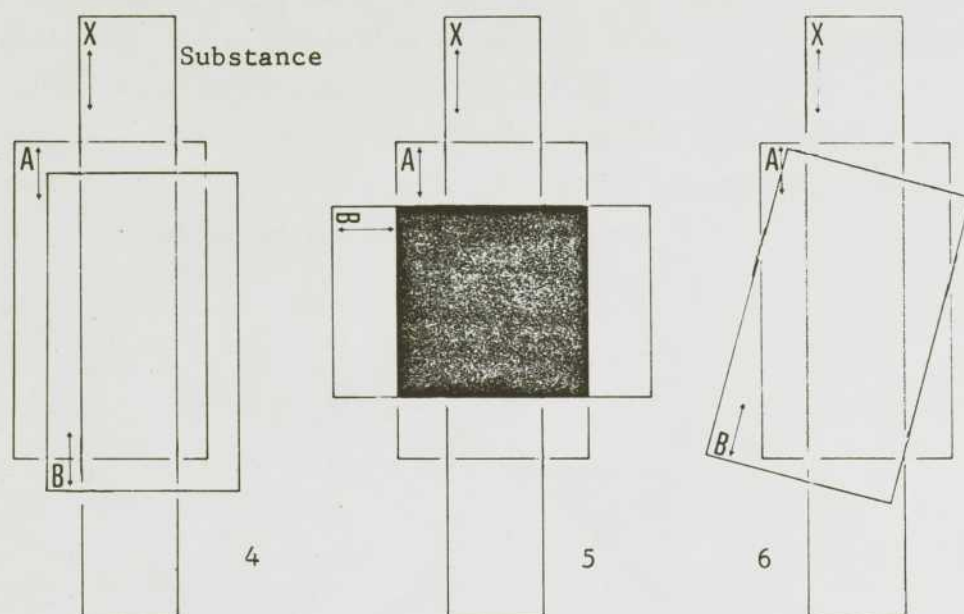


Figure 4.
Substance,
pas de
couleurs

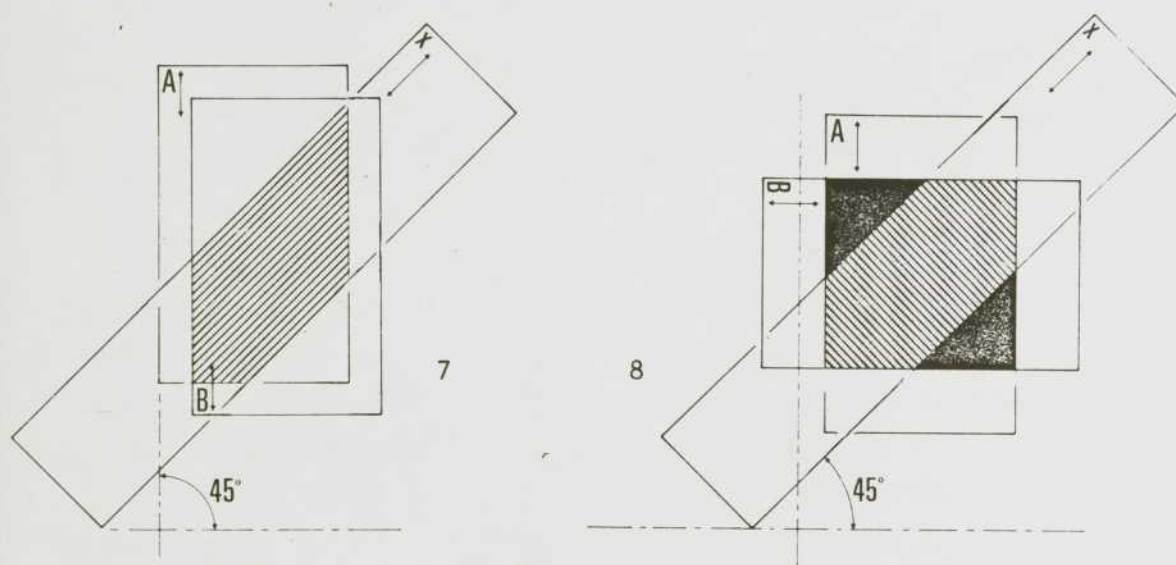


Figure 5.
Substance
et couleurs

Si l'on a de la cellophane transparente très mince, on peut arrêter la lumière et cela sans perception apparente de la couleur (9) (10) fig. 6. La cellophane colorée donnera le même résultat sauf que la partie visible sans polarisateur sera de la même couleur que la teinte de la cellophane.

On peut coller un deuxième ruban sur le premier, les couleurs perçues sont alors inversées. Avec le même dispositif (7) la première couleur perçue sera le jaune (polarisateur \equiv) et le bleu (polarisateur $|$ —). En plaçant un troisième ruban sur les deux premiers, on obtient en position \equiv un bleu, un vert, un

orangé. En position \perp — un jaune, un magenta, un bleu (couleurs complémentaires des premières). En collant un quatrième ruban sur les trois premiers (8) on obtient en position \perp — un bleu, un orangé, un violet (magenta), un vert, un jaune. En position \perp — un jaune, un bleu, un vert (jaune), un magenta, un bleu. Nous avons collé les rubans d'une façon parallèle, mais on peut les croiser sous des angles différents. On constate rapidement qu'il y a là toute une gamme de possibilités de voir des couleurs, d'en créer d'autres et de comprendre mieux le spectre visible. (Fig. 7).

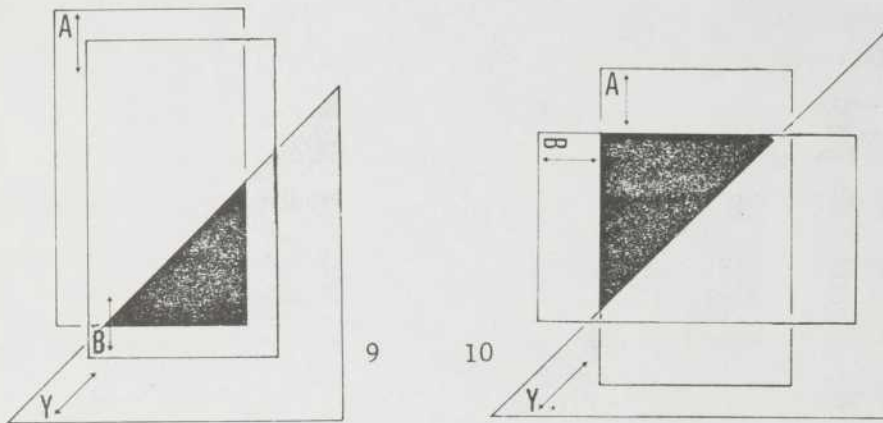
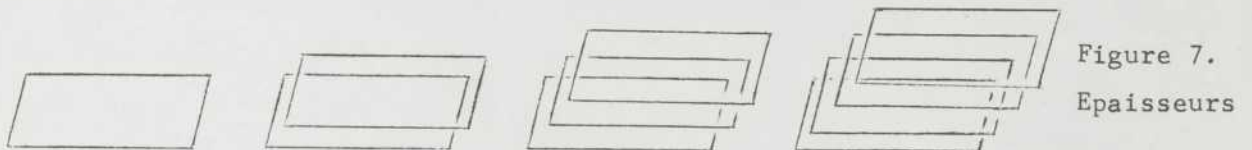


Figure 6.
Cellophane
très mince



Toutes ces couleurs peuvent être perçues par vision directe (11) ou par projection (12) (13). Pour le rétroprojecteur, le polarisateur (analyseur) doit se trouver entre la source de lumière de l'objectif (13). Si le polarisateur se trouve devant, il sera très rapidement détérioré par la concentration du faisceau lumineux. (Fig. 8).

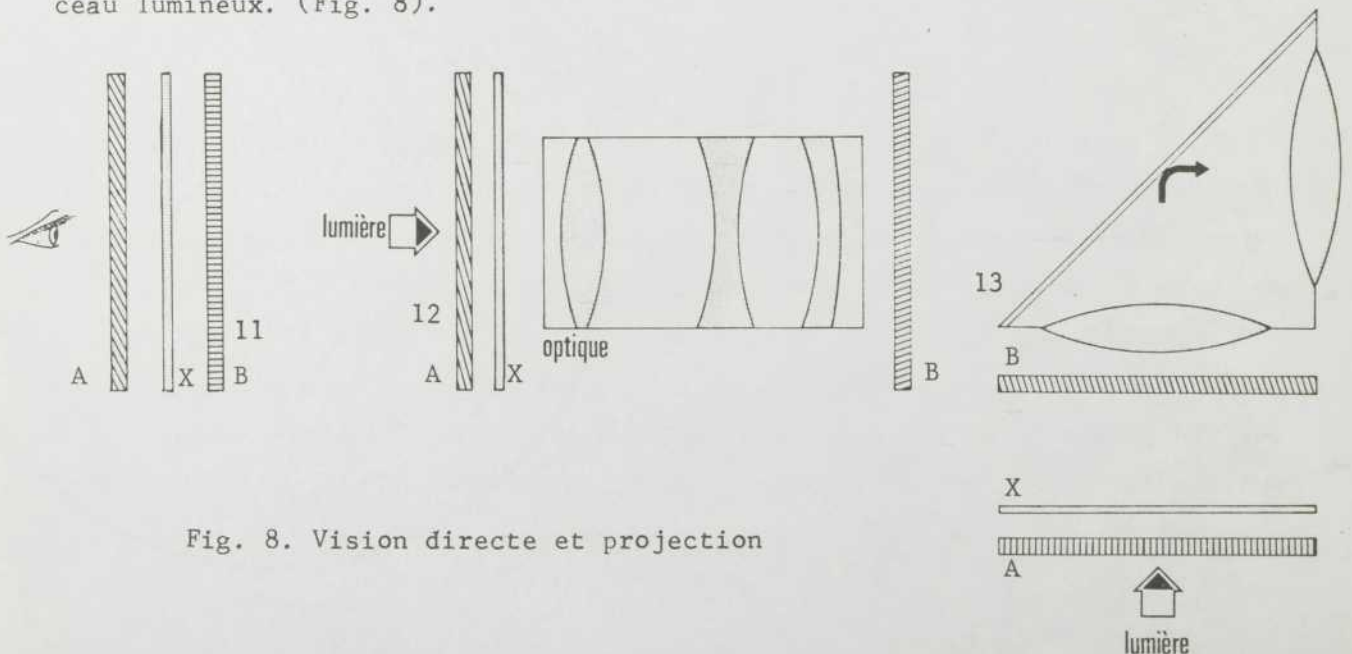


Fig. 8. Vision directe et projection

Pour retrouver toutes les couleurs perçues, il sera nécessaire d'avoir un repère assez précis. Nous proposons ce dispositif (fig. 9). Il suffira de placer le repère dans l'axe de la pellicule anisotrope et la lecture se fera sur le rapporteur d'angle pratiquement, il suffit de faire copier sur pellicule positive les deux dessins, et de les coller sur deux polarisateurs en respectant les directions des polarisateurs.

Quand un des deux polarisateurs est rotatif, il se produit un effet de scintillement qui est provoqué par le passage de la lumière à l'extinction de celle-ci et cela deux fois par rotation. Si la vitesse de rotation augmente de manière à atteindre le seuil de la perception visuelle, on ne percevra plus la couleur mais un gris très pâle, pratiquement du blanc. Si la vitesse de rotation est rapide puis diminue, nous aurons l'effet contraire c'est-à-dire, nous passerons de la lumière blanche à une série de couleurs (préalablement disposée entre les polarisateurs).

Conclusion

Nous avons là un système simple offrant de grandes possibilités de perception de couleurs avec référence à la lumière. De plus, nous pouvons exercer une certaine créativité en cherchant d'autres substances anisotropes et en les combinant de façon à créer une image stable colorée ou bien une image vibrante colorée, ou les deux.

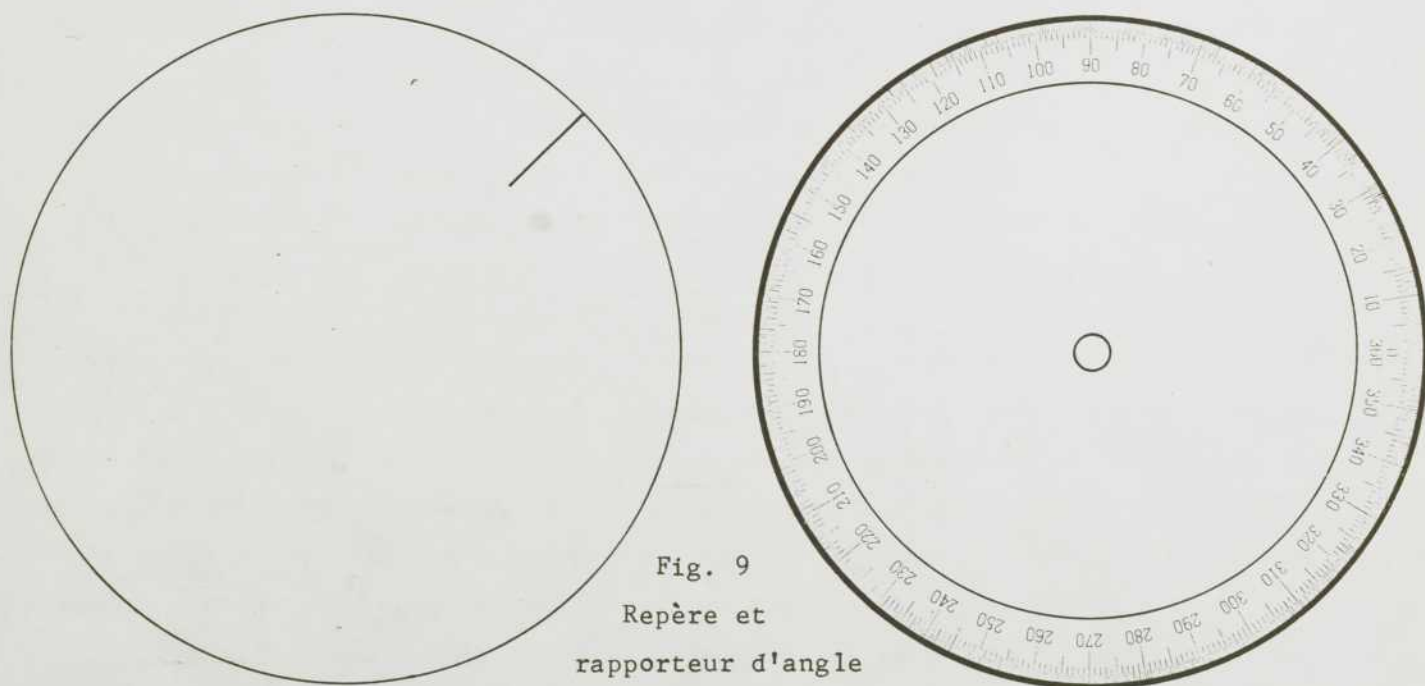


Fig. 9
Repère et
rapporteur d'angle

DIDACTIQUE ET COULEUR

Claude Robillard

Depuis toujours l'homme cherche à connaître le pourquoi et le comment des choses, et depuis toujours une question résolue en fait naître une autre. Cette continuité dans le processus d'acquisition des connaissances a permis à la science et à l'homme de s'élever.

S'il fut un temps où il était possible à un seul homme d'acquérir la somme des connaissances de son époque, il n'en est plus de même aujourd'hui. Cet état de fait est dû à l'importante somme de connaissances accumulées, à la très grande diversité des champs de connaissances et à leur complexité. Ces trois facteurs ne furent pas les seuls à orienter l'homme vers la spécialisation, mais y contribuèrent grandement.

Baigné aujourd'hui dans une ère de spécialisation, où les spécialités n'ont pas plus de liens entre elles qu'avec la culture générale (laquelle d'ailleurs constitue une notion des plus confuses), l'enseignement des arts se trouve limité à soi au même titre que toute autre formation professionnelle. Pis encore, certains "pédagogues inspirés" iront même jusqu'à rayer de leurs "cours" tout contenu technique, se contentant du rayonnement pénétrant de leur haute personnalité de créateur, pour transmettre, par vibration de leur âme magnifique, quelques pages du livre des secrets.

Cette dernière situation existe parce que ces mystérieux personnages croient que par nature un enseignement artistique ne saurait exister. Ces esprits chimériques qui ne doutent pas de leurs inspirations s'en remettent exclusivement à l'intuition pure.

La spécialisation extrême et le cloisonnement qu'elle entraîne contraignent l'enseignement artistique à s'enfoncer dans une impasse. Pour y échapper, il est urgent de réaliser qu'il faut rétablir les ponts reliant les différentes disciplines et qui permettraient une vue d'ensemble beaucoup plus complète. A ce moment, le "ou bien - ou bien" laissera la place au "et" permettant ainsi d'unir. En d'autres termes, le champ d'observation étant plus vaste et les moyens plus nombreux, il sera plus facile d'accéder à une pensée synthétisante.

Si l'analyse peut conduire au morcellement, il n'en est plus de même si l'on prend soin de développer une aptitude à penser selon deux directions suivies simultanément qui sont l'analyse et la synthèse. L'analyse devient alors un moyen vers la synthèse.

Sur une telle base, toute éducation et tout enseignement peuvent s'établir y compris l'éducation artistique. L'importance du "comment" dans l'acquisition des connaissances prime sur le sujet, quel qu'il soit. Pour bien comprendre cette dernière affirmation il suffit de se rappeler que par définition, enseigner signifie transmettre à un élève de façon qu'il comprenne et assimile (certaines connaissances).

Qu'il s'agisse d'art ou de science, ou de toute autre branche de l'activité humaine, la manière de penser et le processus de création sont intimement liés. L'enseignement doit chercher en premier lieu à cultiver la pensée analytique-synthétique, qui par voie de conséquence mènera à l'action analytique-synthétique.

L'enseignement dans quelque domaine que ce soit, doit donc comporter deux parties formant un tout: l'éducation à l'observation, à la pensée analytique-synthétique et aussi la communication et l'appropriation systématiques de connaissances spécialisées correspondantes.

Dans tous les domaines de l'activité créatrice, l'intuition joue un rôle aussi indispensable qu'incontrôlable. En effet, les connaissances accumulées demeurent stériles sans une intuition féconde qui transforme l'acquis en moyen vers un but. Si l'intuition est capable de grandes choses lorsqu'on lui fournit les matériaux, c'est-à-dire: connaissances et méthodes, elle demeure sans signification privée d'eux, tout comme le savoir auquel elle est intimement liée.

Dans son travail, l'artiste obéit à des lois en s'acheminant vers un but. En cela, son travail ne le distingue pas de tout autre être qui crée, puisque dans tous les cas, celui qui crée s'appuie sur ce qu'il sait à l'aide de sa faculté de penser et de l'intuition.

Bien que certaines gens se réclamant du domaine de l'Art prétendent que la

couleur ne s'enseigne pas, et ne peut par conséquent faire l'objet d'un cours dans le contexte d'un enseignement artistique, je sou mets à la bienveillante attention du lecteur intéressé, un sommaire du Cours de couleur dispensé par le Département des Arts plastiques du Collège du Vieux Montréal auquel j'appartiens.

Ce Cours s'échelonne sur trente semaines et comprend trente séances de trois heures. Il s'adresse à l'étudiant possédant un secondaire V (option Arts plastiques). Dispensateur de connaissances spéciales et s'appuyant sur une méthode adéquate, ce Cours permet à l'étudiant de s'approprier systématiquement les connaissances communiquées. Comme on peut le lire dans un document déposé au Département d'Arts plastiques,

"... le Cours de couleur comprend la manipulation de la gouache, des exercices précis et contrôlés, des compositions d'imagination et l'explication de certains phénomènes scientifiques reliés à la vision des couleurs.

Ce Cours a été rédigé en Comité et il serait souhaitable que tous les professeurs qui enseignent la couleur au Département d'Arts plastiques en fassent l'expérience, tout en conservant une méthodologie personnelle".

Aperçu du contenu théorique

La lumière seule source de couleurs. Le spectre électromagnétique; les longueurs d'ondes visibles; le procédé additif; la lumière naturelle et artificielle.

La matière et sa réponse à la couleur. Les pigments réflecteurs absorbants et émetteurs de couleur; le procédé soustractif; les éléments constitutifs des pigments, huiles, essences, colorants, etc ...

L'oeil qui la perçoit. Les récepteurs chromatiques, cônes et bâtonnets; champ visuel, acuité visuelle; erreur artistique de l'oeil; ambiguïtés - illusions.

Effets psychologiques des couleurs. Couleurs chaudes - froides; facteur de sécurité, confort, rendement; symbolisme des couleurs.

Expériences diverses. Prisme, spectroscopie, disques de Maxwell, colorimètre, gélatine - filtres colorés, centrifuge, spectrophotomètre, etc ...

En guise de conclusion je citerai cet extrait du Solfège de la couleur, oeuvre théorique qui figure parmi les ouvrages auxquels se réfère ce Cours de

couleur. Son auteur Edouard Fer écrit:

"Il n'est pas question ici de supprimer par la théorie, la sensibilité et l'émotion de l'artiste devant la poésie des spectacles naturels; mais de guider et soutenir son inspiration en lui mettant en main des données analytiques précises, données qui lui permettront de mieux transcrire et ordonner ses sensations et d'assurer même aux créations de son imagination, un organisme parfait: "scientifiquement, il est maintenant possible de raisonner la couleur, donc de prévoir des effets donnés", affirme Pierre Brard, "avant même qu'ils soient concrétisés matériellement" ".

Références du Cours

- Ernest Baumgardt 1962, "La vision", Que sais-je? No 528, PUF
- Julie Beaudeneau et H.-Ernest Pfeiffer 1956, "Harmonie des couleurs", Dunod
- Jan Bergmans 1960, "La vision des couleurs", trad. Jeannine Beernod, Dunod
- Jean Bourgnon et Paul Kowaliski 1966, "La reproduction des couleurs", Que sais-je? No 472, PUF
- Gérard Bouté 1970, "L'esprit de la couleur", Dessain Tolra
- Maurice Déribéré 1968, "La couleur dans les activités humaines", Dunod
- Edouard-Joseph Fer 1953, 1962, "Solfège de la couleur", Dunod
- Maitland Graves 1941, 1951, 1952, "Color fundamentals, The art of color and design", McGraw-Hill
- Alfred Hicethier 1971, "Le cube des couleurs", Dessain Tolra
- Hilaire Hiler 1942, "Color harmony and pigments", Favor Ruhl N.Y.
- Johannes Itten 1971, "L'art de la couleur, édition abrégée", Dessain Tolra
- Egbert Jacobson 1948, "Basic color, Ostwald color system", Theobald Chicago
- Wassily Kandinsky 1975, "Ecrits complets, III", DeNoël Gonthier
- Paul Klee 1973, "La pensée créatrice I", réd. Jürg Spiller, Dessain Tolra
- Conrad George Mueller 1969, "L'oeil et la lumière", Time-Life
- Munsell book of color 1970, Munsell color Co. Baltimore
- José M. A. Parramón 1970, "La couleur et le peintre", Bordas
- Henri Pfeiffer 1972, "L'harmonie des couleurs", Dunod
- Robert Rat et Pierre Roger 1953, "Lumières et couleurs, notions d'optique et de chimie", Eyrolles
- J. Ségal 1953, "Le mécanisme de la vision des couleurs", Doin
- Films: Vasarely; Découvrons la couleur (CIL)

Reproductions de peintures (Centre de ressources didactiques; Département audio-visuel)

(J. P. Bonna, "Les couleurs et leur perception visuelle", Dunod)

(Albert Joseph, "Les carrés magiques d'Albers")

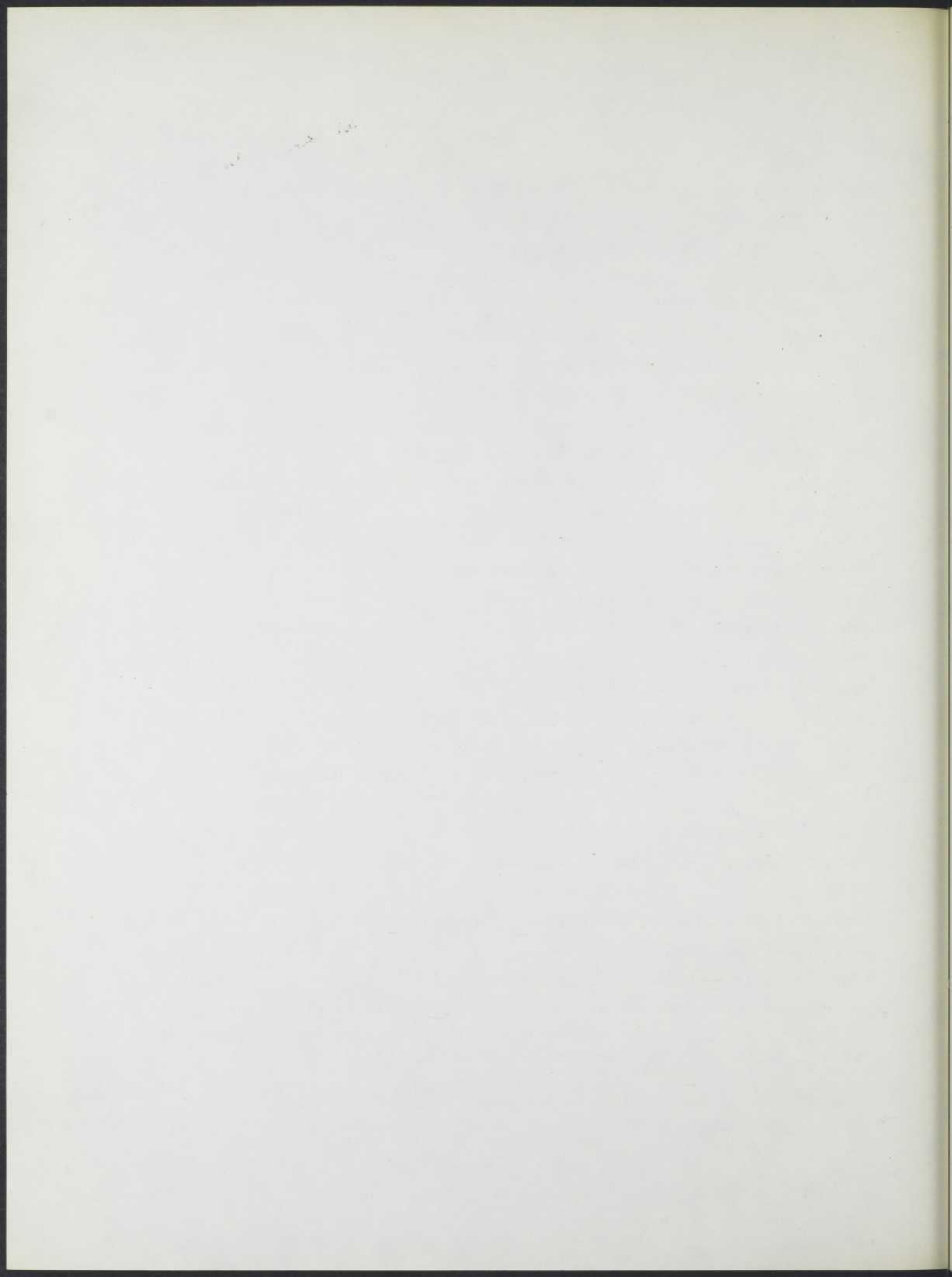
(Johannes Itten 1961, "L'art de la couleur, édition complète")

(Rousseau, "Psychologie de la couleur")

(Rousseau, "Les couleurs du métabolisme de la lumière", Flammarion)

Table des auteurs du Tome I et du Tome II

Pierre-Louis Aerts, Cie électronique Philips	I, 1-40	
Claude Blin, CEGEP du Vieux Montréal		II, 84-90
Pierre Bourque, Institut botanique U. de M.		II, 102-110
Micheline Couture-Calvé, Dép. Arts plastiques UQAM		II, 91-95
Pierre Dansereau, UQAM		II, 96
Marie-Charlotte de Koninck, Musée du Québec	I, 225-236	
André Delorme, Dép. de Psychologie U. de M.	I, 187-206	
Pierre Demers, Dép. de Physique U. de M.	I, 41-57, 58-63, 207-210	
		II, 1-22, 44-47, 48-52, 97-99
Jean-Berthold Ducharme, Bureau de Normalisation du Québec		II, 32-33
Lise Dumais-Bouillon, CEGEP Sainte-Foy		II, 100-101
Lucie Duranceau, Collège Dawson, Montréal	I, 211-224	
Michel Famelart, Institut botanique U. de M.		II, 102-110
Gaston Fournier, 884 de Bourgogne, Sainte-Foy	I, 64-90	
Louise Gariépy, Fac. de Musique U. de M.		II, 53
Ben V. Graham, Ec. d'Optométrie U. de M.	I, 137-148	II, 44-47
Ivan Kirouac, SICO		II, 34-38
Jacques Létourneau, Ec. d'Optométrie U. de M.	I, 137-148, 149-159	
Maurice-G.-V. Macot, Dép. Arts plastiques UQAM		II, 111-117
Claire Miron, 401 Côte Saint-Antoine, Westmount	I, 237-243	
Stéphane Molotchnikoff, Dép. des Sciences biologiques U. de M.	I, 160-186	
Jacques Palumbo, Collège Ahuntsic	I, 244-250	
François Parra, C.F.C., Muséum d'Histoire naturelle, Paris	I, 251-256	
Louis Portugais, 833 a rue Outremont, Outremont		II, VI-VIII
Maurice Raymond, UQAM	I, 91-134, 257-258	
Claude Robillard, CEGEP du Vieux Montréal		II, 118-122
Jean-Pierre Saint-Dizier, Dép. de Génie physique Ec. Polytechnique		II, 23-31
Paulette-Marie Sauvé, 570 Lamontagne, Calixa-Lavallée		II, 39-43
Neil-S. Zeidel, 1600 Le Corbusier, Chomedey-Laval	I, 149-159	



LES PRESSES UNIVERSITAIRES DE QUÉBEC

Achévé d'imprimer par les travailleurs
des ateliers Marquis Limitée de Montmagny
le 6 octobre 1978

THE PEOPLE'S UNIVERSITY OF AMERICA





CENTRE QUÉBÉCOIS DE LA COULEUR INC.

Incorporé sous l'autorité de la partie 3 de la Loi des compagnies,
en date du 20 novembre 1975.

Les personnes qui s'y retrouvent viennent de professions très différentes, depuis l'art et le commerce, jusqu'à la recherche mathématique, en passant par la psychologie, l'artisanat, la physiologie, la chimie, les textiles, la physique, la photographie.

Désireuses de faire partager à d'autres leur émerveillement devant ce phénomène fascinant et encore peu compris, elles ont décidé de s'organiser en corporation sans but lucratif, et de réaliser un programme d'éducation populaire.

Le but principal du Centre québécois de la Couleur INC., est la réalisation et l'entretien d'une exposition permanente et d'une exposition itinérante, en d'autres termes, un Musée québécois de la Couleur.

Voici d'ailleurs un extrait des règlements généraux, concernant les objectifs du CQC.

1. Grouper en association les personnes intéressées à la science, à l'art et à l'industrie de la couleur et promouvoir leurs connaissances dans ces domaines.
2. Organiser et tenir des conférences, réunions, assemblées, expositions permanentes et itinérantes, spectacles, séances de cinéma, cours, travaux de laboratoire et de recherches pour la promotion et la vulgarisation de ces connaissances.
3. Imprimer, éditer, distribuer toutes publications pour les fins ci-dessus, établir une bibliothèque de publications se rapportant à la science, à l'art et à l'industrie de la couleur.
4. Fabriquer des objets de toutes sortes ayant pour but de promouvoir la connaissance de la couleur sous ses différents aspects.