

AUVERGNE SCIENCES

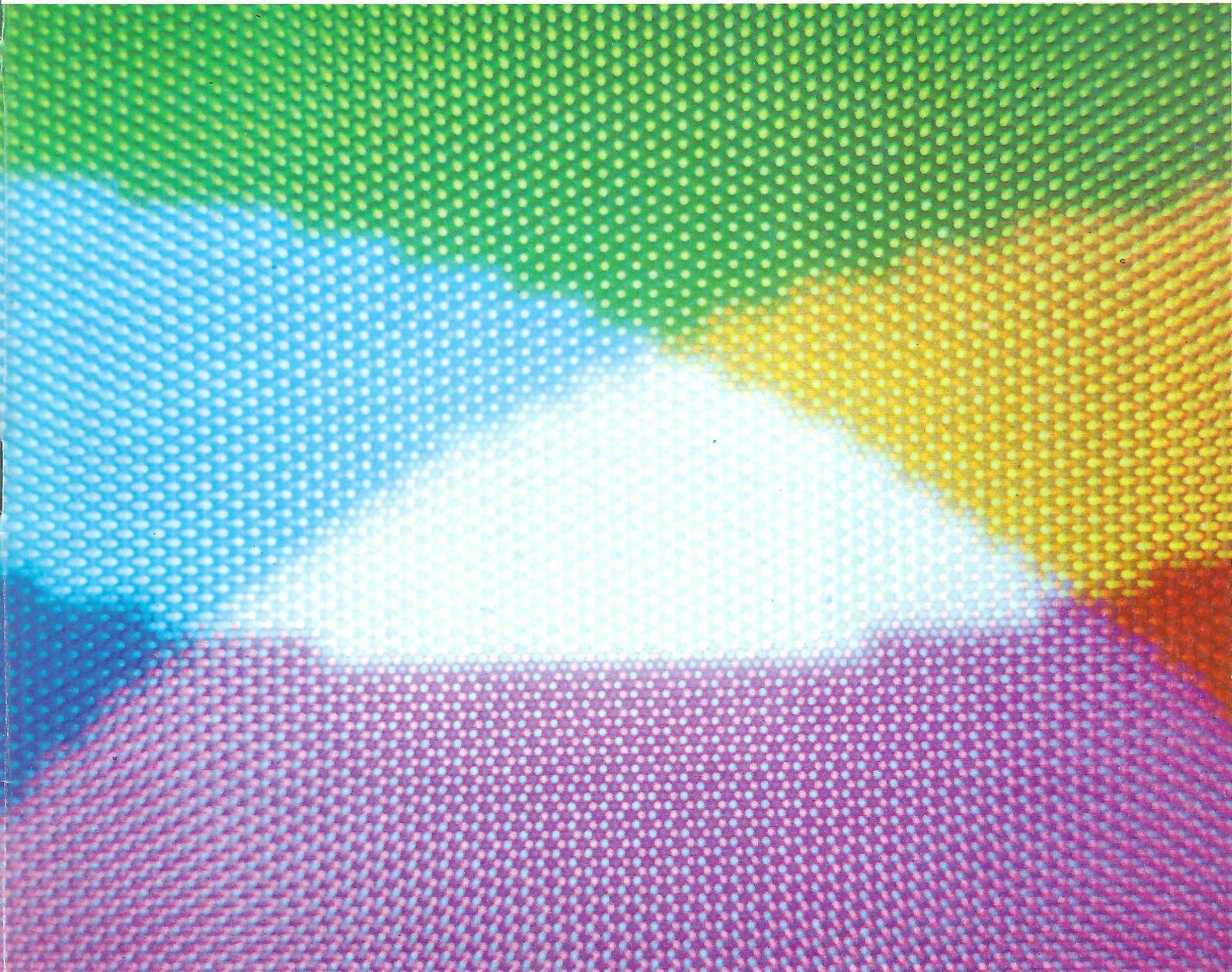
BULLETIN DE L'ADASTA

N° 22

Avril - Mai - Juin 1992

20 F

INTRODUCTION A LA COLORIMÉTRIE



LA REPRODUCTION DES COULEURS

SOMMAIRE

— Mutations technologiques, Régionalisation...	
Nicole HULIN	1
— BIBLIOGRAPHIE	6
— Introduction à la colorimétrie	
M. HENRY	7
— La reproduction des couleurs	
M. HENRY	13
— Informations Régionales	
Les métiers d'art au L.P.	
d'Yzeure	18

Les grandes découvertes du siècle dernier, en physique et chimie notamment, ont permis le développement des sociétés modernes. Le prochain siècle, pense-t-on, verra des progrès considérables dans les domaines de la biologie, de l'information et de l'environnement. De nouvelles disciplines scientifiques sont en train de naître et vont sans doute révolutionner nos façons de vivre et de penser : biologie moléculaire, biophysique, génétique, immunologie,... Toute prévision est aléatoire et il est difficile d'imaginer ce que sera le développement économique futur de nos sociétés.

Les responsables du pavillon français de l'exposition universelle qu'on peut voir actuellement à Séville ont voulu cependant attirer l'attention sur plusieurs secteurs qui seront déterminants dans un proche avenir et pour lesquels la France joue un rôle éminent : informatique, télécommunications, matériaux, agro-alimentaire, espace, et qui auront des conséquences importantes sur la santé, les loisirs, les transports, l'éducation..., c'est-à-dire sur les besoins élémentaires et les aspirations profondes des hommes.

La recherche et l'innovation sont devenues les piliers de cette évolution et, dans notre pays, imprégné de traditions centralisatrices, l'Etat transfère peu à peu ses prérogatives aux collectivités locales et notamment à la Région qui semble devoir jouer, à l'avenir, un rôle déterminant dans ce domaine.

Les régions sont incitées à investir dans la matière grise. Déjà certaines y consacrent 5 % de leur budget (Bretagne, Provence-Alpes-Côte-d'Azur...) en soutenant les laboratoires publics et en assurant des équipements lourds. Il semble que la Région constitue le cadre le mieux adapté pour juger les besoins et les compétences et trouver les solutions qui tiennent compte des particularités locales.

Dans une région comme l'Auvergne on mesure l'effet bénéfique de cette intervention locale dans le domaine de la construction des lycées, du soutien à l'enseignement supérieur, à la recherche et à la formation. L'avenir devrait confirmer cette évolution souhaitée par les responsables économiques et politiques.

R. J.

L'ADASTA a reçu en 1991 le soutien financier

- de la Délégation à l'Information Scientifique et Technique (Ministère de la Recherche et de la Technologie)
- du Conseil Régional d'Auvergne
- de la Direction Régionale des Affaires Culturelles (Ministère de la Culture et de la Communication).

Auvergne-Sciences : publication trimestrielle

Adhésions et Abonnements :

Adhésion à titre individuel	100 F
Adhésion à titre collectif	500 F
Membre bienfaiteur	1000 F

L'adhésion donne droit au service gratuit du bulletin et à des réductions sur les différents services rendus par l'Association (publications, stages, visites...).

Adressez le courrier à **ADASTA, UFR Sciences, 63177 Aubière Cedex - Tél. 73 40 72 26**

Photographie de couverture :

Reproduction des couleurs par synthèse additive sur un écran d'ordinateur (photo R. Jouanisson)

Directeur de la Publication : Pierre SOLÉ
Rédaction : Roland JOUANISSON

Bulletin trimestriel - Abonnement : 100 F par an
Edité par ADASTA - Complexe des Cézeaux

MUTATIONS TECHNOLOGIQUES, RÉGIONALISATION... ET ENSEIGNEMENT SCIENTIFIQUE : SOUS LE SECOND EMPIRE, DÉJÀ !

Nicole HULIN *

Montrer les objectifs poursuivis et les orientations choisies pour l'enseignement des sciences sous le Second Empire permet de comprendre le type d'organisation de notre enseignement secondaire et renvoie immédiatement à des débats actuels, qui sont des débats de fond, sur l'enseignement des sciences.

Le problème des finalités de l'enseignement scientifique, comme le note André Chervel, est l'un des plus complexes et des plus subtils, et c'est un important problème :

"Si l'école se bornait à "vulgariser" des sciences ou à adapter à la jeunesse des pratiques d'adultes, la transparence des contenus et l'évidence de leurs objectifs seraient totales. Dès lors qu'elle enseigne ses propres productions, on ne peut que s'interroger sur leurs finalités : à quoi peuvent-elles bien servir ? Pourquoi l'école a-t-elle été amenée à prendre de telles initiatives ?"

L'école enseigne ses propres productions, c'est ce que souligne Michel Hulin pour la physique dans l'enseignement secondaire, en particulier dans un texte de 1987 "La Physique ou l'enseignement impossible" (1) ; Michel Hulin écrit :

"...ce système d'enseignement porte en fait sur une autre matière que la physique à proprement parler, ...une partie importante de son activité consiste d'ailleurs à sécréter cette matière particulière..."

INTRODUCTION

Dans cet aperçu historique, nous tenterons de montrer en quels termes se posait le problème de l'enseignement scientifique secondaire au XIX^{ème} siècle et centrerons notre attention sur la réforme dite de la "bifurcation" des études instaurées en 1852, par le premier des ministres de l'Instruction publique du Second Empire, H. Fortoul. Dans cette réforme novatrice, importante pour l'enseignement des sciences, après un tronc commun, se présen-

tent en 3^{ème} deux sections lettres et sciences, équivalentes par la durée et la sanction des études. Ne serait-ce que du seul point de vue de l'institution du baccalauréat qui pèse si fortement sur le système des études français (2), cette réforme est essentielle par le changement qu'elle introduit dans l'organisation adoptée en 1808, lors de l'établissement de l'Université Impériale : le baccalauréat ès sciences devient, en 1852, indépendant du baccalauréat ès lettres.

Pour bien situer les problèmes qui se posent au XIX^{ème} siècle, il faut souligner que l'enseignement secondaire, non gratuit, est accessible à moins de 5 % des enfants (en 1842, 1 sur 45 ; en 1876, 1 sur 21). Dans cet enseignement réservé à une catégorie de privilégiés les études classiques constituent un signe de distinction et, dès le début du siècle, est discutée la question de la fusion ou de la séparation lettres-sciences. Il en résulte que, comme le notera plus tard le sociologue E. Durkheim :

"Il y a ...un enseignement dont le sort varie, du moins en apparence, de la manière la plus capricieuse : c'est celui des sciences. On le voit tantôt se dilater tout le long de la série des classes entre lesquelles il se répartit plus ou moins également ; tantôt, au contraire, se concentrer dans une classe unique, généralement au sommet ; tantôt, enfin, il est relégué hors des cadres réguliers et tombe à l'état d'enseignement accessoire. Tantôt les sciences sont unies aux lettres, tantôt elles s'en séparent. En un mot, elles sont dans un perpétuel état de nomadisme".

Avec V. Cousin (1840), comme plus tard avec V. Duruy, il y a recul de l'enseignement scientifique dans les classes secondaires, justifié par les considérations pédagogiques (3). Mais il faut noter que ce sont ces mêmes ministres qui ont introduit des mesures importantes pour l'enseignement scientifique en spécialisant l'agrégation des sciences.

Les plaidoyers en faveur du développement de l'enseignement des sciences insistent sur l'utilité de la culture scientifique dans les différentes branches d'activité et s'attachent à

montrer que l'étude des sciences élève l'âme et l'esprit ; il faut, en effet, rassurer car, comme le note G. Cuvier en 1807 :

"certains voudraient faire croire que l'esprit des sciences est contraire à celui de la religion".

Par ailleurs, dès le premier tiers du XIX^{ème} siècle apparaît clairement la préoccupation d'approprier l'instruction aux besoins de la société. L'introduction d'une diversification dans les études secondaires est souhaitée par les familles qui en demandent aussi l'abréviation. Le problème de la fondation d'un enseignement particulier, distinct de l'enseignement classique et faisant place aux matières modernes, donc aux sciences, est alors posé. Cet "enseignement intermédiaire" fait l'objet d'études, de rapports et de projets d'organisation qui comportent tous des affirmations de principe reflétant un souci à la fois économique et politique. Les objectifs politiques sont clairement énoncés par Ambroise Rendu, en 1828, dans **Un mot sur l'Université** :

"Il importe au bonheur et à la tranquillité de l'Etat, de fournir à toutes les classes de la société les moyens d'acquiescer une instruction suffisante dans l'ordre et la proportion de leurs intérêts respectifs... il reste quelque chose à faire pour l'instruction des classes nombreuses qui se vouent aux travaux industriels et manufacturiers".

De son côté, au début des années 1830, Saint-Marc Girardin dénonce les dangers de l'inadéquation d'un enseignement non diversifié :

"Avec ce genre d'instruction, on manque son état ; et c'est par là, c'est par cette recrue de désœuvrés incapables que s'augmente sans cesse cette masse flottante de prétentions et de vanités..., hommes propres à tout, qui n'ont la capacité de rien..."

Ainsi, note A.C. Renouard (1824) : "L'absence d'une éducation secondaire, appropriée aux besoins des classes laborieuses", présente un inconvénient grave ; ceux qui ressentent le besoin d'éducation, s'écartent de leur destination première en se tournant vers les profes-

* Nicole Hulin, ancienne élève de l'Ecole Normale Supérieure, est Maître de Conférences à l'Université Pierre et Marie Curie (Paris 6) et au Centre Alexandre Koyré.

sions lettrées. "Les bourses accordées aux dispositions précoces... entretiennent cet inconvénient", en les faisant sortir "des classes inférieures, qu'il importerait si hautement, au contraire, de ne pas dégarner de lumières et appauvrir de talents".

LE CONTEXTE ÉCONOMIQUE ET SOCIAL

La persistante insistance à constituer un enseignement approprié aux besoins de la société, de façon à ne pas former de déclassés qui représentent un danger potentiel pour l'Etat, doit être située dans le contexte économique et social. Nous donnerons donc ici quelques brèves indications à ce sujet ; elles sont d'autant plus nécessaires que l'aggravation de la situation va amener des changements politiques importants (instauration de la Seconde République, établissement du Second Empire).

Les crises se succèdent : 1826-1829, 1837-1840, 1846-1847 ; ces crises cycliques ont une double origine : comme l'indique Ph. Vigier :

"Dans une France où l'agriculture reste l'activité dominante, mais où l'industrie et le commerce jouent un rôle toujours plus important, à la crise agricole caractéristique de l'économie traditionnelle, vient s'ajouter une crise du crédit, provoquée par l'ampleur même de l'essor industriel et commercial..."

Après la poussée industrielle des années 1821-1825 et la crise boursière de 1825 qui entraîne de nombreuses faillites, survient une crise agricole dans les années 1826-1829. C'est dans un climat de crise que survient la terrible épidémie de choléra de 1832. Des grèves commencent à éclater en 1833, et la crise s'intensifie dans les années 1839-1840 : marasme du commerce, cherté des grains, chômage important... Le perfectionnement de l'outillage, l'introduction des machines, contribuent à l'afflux des ruraux vers les villes. Une partie des classes laborieuses des grandes villes est considérée comme dangereuse pour la société. Aux troubles agraires s'ajoute l'agitation des ouvriers qui vont commencer à s'organiser politiquement. En 1847, la crise est générale.

Par ailleurs, comme le souligne E. Charton en 1842, sous la Monarchie de Juillet, la liberté de choix pour une carrière s'est accrue ; les grandes villes attirent les jeunes gens qui, renonçant à suivre la même voie que leur père, cherchent à y faire carrière. Aussi, avec des études secondaires qui jettent tous les esprits

dans le même moule sans tenir compte de la diversité des vocations, on forme des déclassés qui augmentent le nombre des mécontents. Réformer l'enseignement est donc une nécessité politique.

Par exemple, J.-B. Dumas explique :

"nous n'avons plus de classes privilégiées en France. Toutes les carrières sont accessibles à tous... le jeune homme, au lieu de suivre la profession de son père s'abandonne volontiers aux chances d'une vocation, souvent mal comprise... Il en résulte une extrême agitation morale de tous les rangs de la population, une attraction irrésistible vers le centre, notamment vers Paris, et dès lors une foule de déceptions dont les victimes deviennent les ennemis du gouvernement et même de l'ordre social".

Une réforme de l'instruction secondaire s'impose car son inadaptation aux besoins d'une part importante de la société constitue une menace. En effet :

"...un trop grand nombre de jeunes gens peu aisés ne (trouvent) pas à sortir de leurs études, l'emploi des connaissances de luxe qu'ils ont acquises, sont déclassés et livrés à toutes les passions de l'envie, du mécontentement et du désordre".

LES RAPPORTS DE J.-B. DUMAS

La nécessité de réformer l'enseignement est affirmée par J.-B. Dumas dans plusieurs rapports (1845, 1846, 1847).

Dès le rapport de 1845, il recommande un enseignement distinct selon la destination des individus en avançant, ici, un argument électoral. L'objet des études est la préparation à une carrière ; il faut donc une instruction appropriée aux besoins des familles, et tout particulièrement de celles qui se livrent au commerce et à l'industrie, car elles détiennent la puissance économique et électorale. S'il est, certes, désirable que tous les enfants des familles aisées suivent les études classiques, cela est irréalisable en fait. J.-B. Dumas conclut, en politique averti, qu'il est préférable que l'Université dirige un mouvement qu'elle ne peut empêcher. J.-B. Dumas écrit :

"les hommes qui se livrent au commerce et à l'industrie forment la classe la plus nombreuse de la société, c'est dans les mains de cette classe que se trouve la puissance électorale, c'est elle qui supporte la plus grande partie des charges de l'Etat et dans le siècle où nous vivons, la puissance des peuples se mesure par la puissance de leur commerce et de leur industrie".

Dans le texte de 1847, J.-B. Dumas précise :

"nous nous préoccupons d'une classe élevée de la société, celle des Electeurs. Car, prenant au hasard une masse d'électeurs, nous en voyons seulement 30 % dans les professions libérales ; le reste, c'est-à-dire la grande majorité, appartient aux diverses classes des producteurs : il est naturel que ceux-ci désirent que leurs enfants leur succèdent, et qu'ils aient une éducation dirigée dans ce sens".

L'enseignement intermédiaire doit donc être organisé avec des cours diversifiés, adaptés aux nécessités locales. D'autre part, le savant dénonce les défauts d'un enseignement scientifique concentré sur une année d'études et fait des propositions pour une réforme qui développe l'enseignement des sciences. Mais il faut développer l'enseignement scientifique, il est non moins nécessaire de ne pas surcharger les élèves ; on doit donc limiter les ambitions, et ainsi apparaît une conception utilitaire de l'enseignement des diverses sciences considérées dans leur rapport avec les autres.

Le plan d'études proposé en 1847 tente de concilier deux objectifs, développer l'étude des sciences dans l'enseignement secondaire et répondre à la nécessité d'un enseignement intermédiaire, en créant "à côté du collège littéraire", le "collège scientifique" après la classe de 4ème.

L'importance des changements proposés dans le projet de Dumas est soulignée par la **Revue de l'Instruction publique** :

"...c'est un bouleversement complet de ce qui s'est fait jusqu'à présent... c'en est assez pour que nous soyons certains, quant à nous, que le projet ne s'exécutera pas".

On comprend qu'il ait fallu le régime autoritaire du Second Empire pour imposer le système de bifurcation des études exposé par J.-B. Dumas. Une première étape est cependant franchie dans le statut de Salvandy (1847), qui s'inspire des propositions présentées dans le rapport de J.-B. Dumas, sans en retenir toutefois les éléments essentiels, l'équivalence des deux filières par la durée et la sanction des études.

Avec l'établissement du Second Empire, une occasion est offerte à J.-B. Dumas de tenter de faire appliquer ses idées. Plus tard, dressant le bilan de l'ensemble de son action, il écrira :

"L'Université me paraissait... le véritable point d'appui de la société menacée. Il s'agissait de la fortifier, de la rendre populaire, c'est-à-dire d'augmenter dans toutes les directions son influence et son utilité".

Tous les efforts que j'ai tentés avant 1848... entravés par des lenteurs calculées, rendues stériles au moment de l'exécution par des déviations habiles, sont demeurés sans résultat.

Depuis le 2 décembre, tout est devenu facile et les changements qui paraissaient autrefois inacceptables se sont accomplis avec résignation d'abord et bientôt avec une entière confiance.

La part que j'ai prise aux mesures qui ont sauvé l'université sauvera peut-être mon nom de l'oubli. Peu de personnes en connaissent la portée...

LA RÉFORME DE 1852

Sous le second Empire les saint-simoniens jouent des rôles importants dans l'essor économique et industriel. Auguste Blanqui les qualifie de "piliers de l'Empire". Leurs idées en matière d'éducation ne peuvent qu'être reçues favorablement, l'Université semble, à Napoléon, "d'un autre âge et comme un débris du passé. Comment admettre que, dans une société transformée par la science et l'industrie, la culture littéraire, honneur des siècles précédents, restât le fond principal de l'éducation publique". Cette influence des saint-simoniens sur l'orientation des réformes de l'enseignement est d'ailleurs soulignée dans la presse d'opposition.

La réforme Fortoul est liée au souci de favoriser l'essor économique, en dix-huit années d'un gouvernement autoritaire, la France va se doter d'une économie moderne. Les objectifs annoncés par le réformateur sont clairs :

"Les sciences ... dirigeront spécialement vers le but utile des sociétés l'intelligence de la jeunesse ; elles la prépareront... à l'administration, au commerce, à l'industrie qui sont les formes les plus essentielles de l'activité moderne".

Or, comme le note Le Châtelier, l'enseignement des sciences peut être envisagé de deux manières : l'une correspond à "l'intérêt spéculatif que la science présente pour tout esprit cultivé", l'autre "à l'intérêt pratique qu'elle comporte par ses applications". La réforme Fortoul privilégie le deuxième aspect.

Aux nécessités économiques est associé le souci politique de ne pas former de "déclassés" (4), souci que nous avons déjà noté dans plusieurs textes. Dans son rapport du 23 juillet 1852, la commission mixte chargée d'organiser la réforme conclut :

"A la place de ces bacheliers sans carrière, que leur impuissance aigrit, sol-

liciteurs nés de toutes les fonctions publiques, faits pour troubler l'Etat par leurs prétentions, on verra donc sortir de nos lycées des générations vigoureusement préparées aux luttes de la production".

Les arguments en faveur du développement de l'enseignement scientifique sont divers. Notons que l'économiste saint-simonien Michel Chevalier insiste sur la nécessité d'un enseignement scientifique dispensé au plus grand nombre et tout particulièrement à ceux qui exercent des responsabilités.

"... il ne s'agit pas seulement de former des ouvriers qui produisent plus et mieux... ni de préparer à la direction des ateliers les hommes qui auront reçu de leur père un patrimoine... Il faut, de même, que les hommes qui suivent les professions libérales cessent d'être étrangers aux opérations de l'industrie. Chez des nations où le plus grand nombre de citoyens (je souligne le mot) se consacre à l'industrie... il n'est pas possible que les hommes qui occupent les plus hautes fonctions publiques, ceux qui administrent, ceux qui rendent la justice, soient bornés à une éducation qui les laisserait dans l'ignorance des principaux faits industriels et des lois naturelles sur lesquelles la pratique de l'industrie se fonde. Ce serait un énorme contre-sens, une cause de mésintelligence profonde et de graves mécontentements dans l'Etat. Les gouvernants et les gouvernés se seraient pas le même peuple". (5)

Par ailleurs, dans le contexte du régime de liberté de l'enseignement instauré par la loi Falloux en 1850, le problème de la concurrence de l'enseignement libre prend une particulière importance. Ainsi, pour J.-B. Dumas, la défense de l'Université est un souci majeur ; il explique, en effet :

"L'Université ne doit... pas abandonner, ce me semble, l'excellent terrain où elle s'est placée. En organisant les études de la section scientifique des Lycées, elle a attiré des élèves en grand nombre qui allaient puiser des opinions dangereuses dans ces milieux malsains".

L'organisation de l'enseignement de la section scientifique est de première importance dans la rivalité qui oppose les établissements publics et les établissements libres. D'ailleurs le jésuite A. Cahour ne s'y trompe pas quand il analyse, dès 1852, la réforme Fortoul. Ainsi, on peut considérer qu'en faisant la part belle aux sciences, que le clergé n'est pas prêt d'enseigner, H. Fortoul "sut lutter avec avantage contre les écoles du clergé, en faisant autrement que le clergé". C'est ce que préconisait d'ailleurs Michel Chevalier dès 1843. En 1856,

J.-B. Dumas reprend l'argumentation de Michel Chevalier, affirmant :

"... si l'instruction secondaire fait une part convenable aux sciences, le clergé n'y peut intervenir que pour une part modérée. Si le plan d'études modifié de nouveau rendait aux lettres leur prépondérance, les familles renonceraient aux lycées, pour se tourner vers le clergé".

Même parmi les adversaires de la réforme, certains pensent comme J.-B. Dumas et M. Chevalier qu'elle est utile pour lutter contre la concurrence du clergé ; tel est le cas de l'inspecteur Garsonnet, ami intime de Bersot, qui, de ce fait, n'en souhaite pas vivement l'abandon. Il écrit à Bersot, au sujet du plan d'études :

"Ceux qui l'abominent, les jésuites, savent quelques bribes du grec, un peu de latin (de saint Jérôme) et du français d'un goût suspect. Avec ce mince bagage on faisait des bacheliers à l'ancienne mode. Avec le système Fortoul, il faut des sciences prises à dose égale, et les pauvres abbés sont là-dessus, d'une ignorance égale à celle de ton serviteur".

Les raisons qui amènent H. Fortoul à favoriser l'enseignement des sciences sont multiples. R. Fox pense qu'en fait, les sciences devraient être considérées comme "idéologiquement saines". Il serait peut-être plus exact de dire que leur enseignement pouvait être envisagé d'une manière idéologiquement saine, en le bornant "à une information, à une acquisition utilitaire des connaissances", comme le notera Paul Langevin (cette interprétation est avancée par J. Maurain dans sa thèse (1930).

Cependant, le problème de l'enseignement intermédiaire n'est pas résolu par le système de la "bifurcation" instauré en 1852. La création, en 1854, de cours de sciences appliquées dans les facultés répond à la nécessité d'organiser un tel enseignement et constitue une mesure d'accompagnement nécessaire du nouveau plan d'études des lycées. Les programmes sont "rédigés en vue des besoins généraux de la science et de l'industrie" mais comportent quelques développements nouveaux "eu égard aux convenances particulières de certaines localités".

LE MINISTÈRE DURUY

Objet de nombreuses critiques, le régime de la "bifurcation" est abandonné en 1864 sous le ministère de V. Duruy. Cette mesure n'implique pas un retour complet en arrière. L'existence d'un baccalauréat ès-sciences

indépendant du baccalauréat ès-lettres n'est pas remise en question ; les sciences sont reconnues comme une partie intégrante de l'enseignement général. D'ailleurs V. Duruy ne dévalorise aucunement les sciences. Il conçoit différemment leur enseignement qui, selon lui, doit reposer sur une solide base mathématique.

V. Duruy insiste sur la nécessité d'un enseignement des sciences organisé suivant un "ordre logique" : "les mathématiques à la base, les sciences physiques au sommet", car "sans mathématiques, on ne peut faire qu'une physique de mauvais aloi". Maturité des élèves, maîtrise de l'outil mathématique sont deux conditions nécessaires à un bon enseignement de la physique. On comparera aux affirmations de Henri le Châtelier :

"... pour les sciences ...tout est lié ;... Sans arithmétique, pas d'algèbre possible ; sans algèbre, pas de géométrie analytique ni de physique... L'esprit n'est mûr pour les études scientifiques que vers seize ans. Jusque là, on devrait se contenter de faire apprendre aux enfants les sciences naturelles qui exigent seulement l'esprit d'observation et préparer l'étude des sciences physiques par des travaux manuels d'atelier ou de laboratoire, destinés à donner la connaissance expérimentale des principaux phénomènes naturels".

De son côté, A. Cournot expose en 1864 qu'"il faut éviter deux écueils dans lesquels ont tombe trop souvent" lorsqu'on enseigne la physique :

"... l'un, qui serait de s'appesantir sur la description des appareils... comme si l'on se proposait de former des expérimentateurs ; l'autre, qui est de déflorer le sujet... en commençant trop tôt l'enseignement des sciences physiques, en s'adressant à des enfants qui n'ont, ni le jugement assez fortifié, ni les connaissances mathématiques assez familières, pour chercher dans la physique autre chose que des expériences amusantes".

Nous abordons ici le problème de la difficulté d'enseigner la physique dans le secondaire, voire l'impossibilité d'y enseigner la physique des physiciens (6), ne serait-ce que par les connaissances mathématiques qu'exige la construction des concepts et des formalismes.

Le cursus proposé par V. Duruy est le suivant :

"Les quatre classes d'humanités forment le cours normal d'études qui mènent au baccalauréat ès lettres... Mais le lycée doit aussi conduire au

baccalauréat ès sciences et aux écoles spéciales.

Pour atteindre ce but, beaucoup d'élèves, d'après le nouveau plan, suivront la grande route des études complètes, c'est-à-dire les quatre classes d'humanités".

Il est cependant loisible aux élèves de quitter les études littéraires après la 3ème ou la seconde, pour se diriger vers la classe de mathématiques élémentaires.

Parmi les critiques formulées contre la bifurcation des études de Fortoul, V. Duruy retient, outre l'abaissement du niveau des études, la nécessité d'une orientation précoce et la scission de l'enseignement :

"Le lycée classique (était) scindé en deux sections, les esprits (étaient) irrévocablement classés, dès la première adolescence, en deux catégories, et pour ainsi dire divisés en deux camps..."

Par la suppression de la bifurcation des études, tous les élèves vont être "appelés à recevoir la même culture".

V. Duruy revient à une conception plus traditionnelle des études classiques, mais introduit une innovation importante avec la création, en parallèle, d'un enseignement sans latin, qui débute en 6ème, l'enseignement secondaire spécial. (Dans la discussion du budget pour l'exercice 1870, V. Duruy précise "l'enseignement secondaire spécial que les Anglais caractérisent d'un mot parfaitement juste, l'**enseignement moderne**").

*"Cet enseignement particulier fut **secondaire**, parce qu'il s'élevait fort au dessus des préoccupations de l'école primaire, et je l'appelais **spécial**, mot qu'on ne comprend plus aujourd'hui, bien que la circulaire d'exécution... établisse nettement que, si l'enseignement classique est le même partout, l'enseignement spécial doit **varier** dans beaucoup de localités, selon le caractère de l'industrie dominante".*

Avec l'organisation mise en place par V. Duruy il y a un partage "très logique et très approprié aux besoins de (la) société moderne",

*"... partage entre les **Humanités** qu'il faut garder pour l'honneur littéraire et scientifique de la France, et l'**Enseignement spécial** pour ceux qui doivent former les cadres de l'armée industrielle..."*

V. Duruy situe le nouveau système par rapport à celui mis en place par H. Fortoul en soulignant les avantages des dispositions nouvelles.

LES POSITIONS DE H. FORTOUL ET V. DURUY

La réforme Fortoul a été élaborée au lendemain de l'établissement de la loi Falloux qui imposait aux écoles de l'Etat la concurrence de l'enseignement libre. Les statistiques de 1854 et 1865 montrent le parallélisme du progrès de l'enseignement public et de l'enseignement du clergé en 11 ans. L'enseignement public a donc résisté à la concurrence et, si le problème demeure posé, la situation se présente plus favorablement. Les deux ministres sont donc placés dans des situations différentes.

Ils ont de plus des points de vue divergents sur le rôle et la place respective de la théorie et des applications. V. Duruy tient un discours où l'on peut déceler l'influence de L. Pasteur, soulignant la primauté de la théorie, et conclut en ce qui concerne l'enseignement secondaire :

*"Nous laisserons au lycée classique la **théorie**, qui forme les esprits élevés ou puissants dont nous avons besoin pour marcher en avant, mais nous placerons au collège spécial les **applications**, pour préparer là des industriels, des agriculteurs et des négociants, qui sachent tout ce que la science peut donner de force productive à l'industrie et à l'agriculture, de facilités au commerce, de bien-être à la société".*

Les deux hommes, cependant, tout en ayant des conceptions différentes, tiennent sur un point essentiel des discours semblables. Alors que dans la première moitié du XIXème siècle la discussion portait sur la prééminence des lettres ou des sciences, tous deux affirment la nécessité d'une combinaison harmonieuse des études, ainsi que le montrent leurs rapports à l'Empereur, celui de H. Fortoul en 1853, celui de V. Duruy en 1864.

Les points de désaccord des deux ministres sont nombreux et ne se limitent pas à l'enseignement secondaire. V. Duruy établit la spécialisation complète de l'agrégation des sciences en 1869, distinguant trois spécialités (sciences mathématiques, sciences physiques, sciences naturelles) alors que H. Fortoul l'avait réduite à une agrégation unique en 1852, supprimant l'organisation due à V. Cousin (1840) avec deux agrégations, sciences mathématiques d'une part, sciences physiques et naturelles d'autre part. L'idée de cette agrégation unique semble en accord avec le point de vue exposé par J.-B. Dumas dans des notes manuscrites.

"L'enseignement classique de la science ne sera constitué que lorsqu'il se trouvera dans les collèges des professeurs... décidés à maintenir sa continuité par des soudures habiles et des pénétrations fréquentes de l'une des divisions artificielles de la science dans l'autre".

La position de H. Fortoul, qui revient à une agrégation unique de science, doit être liée à l'importance nouvelle accordée à la formation "pédagogique" entraînant une mise au second plan du niveau des connaissances exigées. La réforme de la "bifurcation" introduit les disciplines scientifiques dans l'enseignement à partir de la classe de 3ème et développe la part réservée aux sciences physiques et naturelles. Ceci entraîne un besoin en enseignants des diverses disciplines scientifiques. Avec l'agrégation unique de sciences, on obtient des enseignants dont la polyvalence permet une organisation plus souple, et, capables, espère-t-on, de faire les liens nécessaires (7) entre les diverses disciplines scientifiques. L'étendue du programme ne peut qu'entraîner un abaissement du niveau ; comme, de plus, les candidats sont astreints à avoir effectué cinq ans d'enseignement, en toute logique, le programme est conjointement fixé sur des matières de l'enseignement secondaire.

Sous le ministère Fortoul l'agrégation, est donc profondément modifiée ; il y a non seulement abandon de la spécialisation, mais aussi modification de la nature des épreuves et abaissement du niveau. H. Fortoul juge que l'agrégation nouvelle est "devenue essentiellement pédagogique", mais L. Pasteur critique cette organisation :

"Les candidats n'auront que des connaissances élémentaires, et j'ose dire superficielles, tant qu'on leur demandera qu'elles soient aussi variées".

et, sous son influence, la double agrégation est rétablie en 1858 par le ministère Rouland.

En 1852, H. Fortoul supprime l'épreuve d'argumentation

"épreuve qui mettait sans doute en lumière l'érudition des candidats, la promptitude de leur mémoire et leur habileté à soutenir une thèse, mais qui n'avait qu'un rapport très indirect avec l'art d'enseigner".

Une phrase du rapport à l'Empereur, de 1853, résume bien la position de H. Fortoul :

"le goût de l'érudition, cette passion

des peuples vieilliss qui préfèrent à l'étude de l'immuable vérité la recherche des formes changeantes qu'elle prend aux diverses époques de l'histoire".

V. Duruy, historien, ancien élève de l'Ecole normale, a une position très différente de celle de H. Fortoul. Le "Rapport à l'Empereur sur l'Enseignement supérieur (1865-1868)" du 15 novembre 1868, rédigé par V. Duruy contient en germe la réforme de 1869 concernant les agrégations. Dans la première partie du rapport, § 4 Sciences historiques et philologiques, sous le titre "les épreuves d'érudition sont rétablies", V. Duruy envisage le cas des agrégations scientifiques et définit pour elles le contenu d'épreuves de haut niveau, annonçant ainsi la décision ultérieure d'introduire une épreuve d'histoire des sciences dans les agrégations scientifiques.

"On pourra... demander aux candidats pour les agrégations scientifiques des recherches approfondies sur certains faits nouveaux ou quelque point obscur de la théorie, sans oublier l'histoire des sciences qui n'est pas suffisamment connue de nos jeunes savants".

CONCLUSION

A partir du milieu du XIXème siècle, le progrès des sciences et le développement économique du pays imposent, de plus en plus, une double nécessité à toute réforme de l'enseignement :

- accorder une plus grande place à l'enseignement des sciences ;
- répondre au besoin d'un enseignement intermédiaire.

Par la réforme de la "bifurcation", H. Fortoul crée, dans l'enseignement classique, deux branches d'études équivalentes ; l'une littéraire, l'autre scientifique, après la classe de 4ème.

Cependant, pour atteindre complètement le deuxième objectif, H. Fortoul doit accompagner la réforme d'une mesure complémentaire : la création de l'enseignement des sciences appliquées. V. Duruy poursuit des objectifs semblables à ceux de H. Fortoul, mais ses conceptions sur l'enseignement sont différentes. Il crée un enseignement original, sans latin, débutant en 6ème, à côté de l'enseignement classique qui, désormais, ne comporte plus deux divisions distinctes ; il subsiste néanmoins, une possibilité de "bifurcation" au

sein de l'enseignement classique. La réforme de 1902 réalise en quelque sorte une synthèse de ces deux plans d'études : un enseignement sans latin débutant en 6ème, en parallèle avec l'enseignement classique qui offre une "trifurcation" après la 3ème.

C'est un ensemble complexe de raisons qui a fait échouer le système mis en place par Fortoul. Une réforme telle que la "bifurcation", par le bouleversement qu'elle introduisait dans l'enseignement, a pu être mise en place grâce au caractère autoritaire du régime politique établi en France ; dans l'autre sens, précisément parce qu'elle était associée à un tel régime, elle a subi une réaction de rejet, en particulier au sein du corps enseignant. Or, le rôle des professeurs était essentiel pour assurer son succès. Ceux-ci, d'ailleurs n'étaient pas nécessairement d'accord avec l'orientation donnée à l'enseignement de leur discipline et n'étaient pas préparés à la pédagogie nouvelle introduite avec le plan d'études Fortoul, l'adaptation étant difficile pour ceux des maîtres qui n'étaient que bacheliers.

Le système mis en place par H. Fortoul n'a eu qu'une durée éphémère, mais, cinquante ans après, le développement des sciences impose une diversification des études à laquelle on ne pourra plus renoncer. Un choix est alors admis entre divers genres de culture générale. L'adoption de plans d'études comportant des "bifurcations" permet de diversifier l'enseignement secondaire, d'introduire des matières dominantes, de mieux préparer l'insertion de jeunes gens dans la vie économique du pays. Si le principe de l'instauration de systèmes de bifurcation des études, plus ou moins complexes, est acquis, il règne cependant une grande irrésolution au sujet du schéma précis du plan d'études à mettre en place. Dans la première moitié du XXème siècle, les hésitations concernent essentiellement la place à réserver à l'étude des langues anciennes. Dans la deuxième moitié du siècle, les problèmes se posent en d'autres termes ; l'enseignement secondaire doit faire face à "une explosion de la demande sociale d'enseignement sans précédent dans notre pays" (8) qui impose une diversification de plus en plus large du second cycle, tout en facilitant les passages d'une filière à une autre.

NOTES

- (1) Michel Hulin, **Le Mirage et la Nécessité**, Paris, PENS et Palais de la Découverte - 1992.
- (2) Ce point est souligné par A. Cournot :
"On doit rapporter aux dernières années de la Restauration le commencement de la grande maladie du **baccalauréat**, qui a eu et qui aura sur les études de notre pays une si fâcheuse influence... C'est vers cette époque que l'on fit la malheureuse découverte que le but des études du collège est d'obtenir un diplôme ;... depuis la découverte en question, on ne vit plus dans le collège qu'une fabrique de bacheliers..."
- (3) V. Cousin écrit, par exemple, en 1840 :
"les lettres doivent venir avant les sciences... je parle des sciences prises au sérieux, car tout enseignement qui n'est pas sérieux n'est pas seulement inutile, mais dangereux... il donne ce préjugé qu'avec peu de peine on peut apprendre quelque chose, ce qui est radicalement faux".
- (4) Cette référence aux "déclassés" provoquera de vives réactions chez Auguste Blanqui :
"Qu'est-ce que les déclassés, sinon les parias de l'intelligence ? On ne les insulte que parce qu'ils sont pauvres. Dès qu'ils ont des écus, ils cessent d'être des déclassés... Ces déclassés... seront la réserve de la révolution".
- (5) Michel Hulin écrit dans "La Physique ou l'enseignement impossible" (Op. Cit. n° 1).
"... la formation générale dans le domaine scientifique... doit armer la Cité toute entière pour les débats dans lesquels la composante scientifique ou technique est présente".
- (6) M. Hulin, "La Physique ou l'enseignement impossible".
- (7) Parmi les axes de réflexion évoqués dans la réunion-débat du 26 novembre 1988, organisée par le groupe de réflexion sur l'enseignement scientifique, constitué par diverses sociétés savantes, mention est faite de la formation des maîtres : "est-elle adaptée à ce qu'on leur demande plus ou moins explicitement ? Notamment l'aptitude à établir des liens avec les autres sciences, alors qu'ils ont eu un cursus de licence monodisciplinaire".
- (8) Le nombre de bacheliers est passé de 33 000 en 1951 (5. % du groupe d'âge) à 160 000 en 1980 (20 % du groupe d'âge).

BIBLIOGRAPHIE

LE MIRAGE ET LA NÉCESSITÉ

Pour une redéfinition de la formation scientifique de base.

Textes de Michel Hulin réunis et présentés par Nicole Hulin.

Cet ouvrage, annoncé depuis plusieurs mois vient de paraître.

Tout au long des 337 pages de cet ouvrage, on pourra suivre la pensée de Michel Hulin sur la formation scientifique, ainsi que sur la vulgarisation des sciences. Compte tenu de la personnalité de l'auteur et de l'importance de ces textes, nous publierons, dans le prochain numéro d'Auvergne-Sciences, une analyse détaillée de l'ouvrage.

En attendant, il est possible de se le procurer en s'adressant au Palais de la découverte, avenue Franklin-Roosevelt, 75008 Paris.

INTRODUCTION A LA COLORIMÉTRIE

Michel HENRY

UNIVERSITÉ PIERRE ET MARIE CURIE - PARIS

I. - INTRODUCTION

D'une longue lignée d'ancêtres hantant les forêts équatoriales, l'homme a reçu, entre autres legs, un sens particulièrement développé de la vision et surtout la faculté de distinguer les couleurs, privilège que seules quelques autres espèces partagent avec lui.

Il s'agit là d'une sensation très fine, l'œil étant capable de discerner une énorme variété de nuances, de l'ordre de 10 millions, selon Judd et Wyszecki, ce dont témoigne la richesse du vocabulaire consacré à la couleur dans nos sociétés.

Curieusement, selon le Professeur GUIART, du Musée de l'Homme, les peuplades "primitives" n'ont pas toujours des vocables spécifiques pour désigner les couleurs : le même mot désigne le charbon et le noir, la mer et le bleu...

Le cas extrême est celui où il n'existe que deux termes, correspondant à "clair" et "sombre". Viennent ensuite, et dans cet ordre, le rouge, puis le vert ou le jaune, puis le bleu et le marron.

Il existe d'ailleurs chez nous des survivances, ainsi lilas ou orange ; il est curieux de noter, pour ce dernier exemple, qu'orange (nom de couleur) apparaît dans la langue française au XVII^e siècle, bien après que les Européens eurent découvert le fruit au Moyen Orient, lors des Croisades. Dans les chroniques antérieures, et aussi dans le langage héraldique, la couleur est appelée "aurora".

Tenter de répondre à la question "pourquoi voyons-nous les couleurs ?" dépasserait très largement nos compétences. Chercher "comment voyons-nous les couleurs ?" nous contraint également à beaucoup d'humilité, tant sont mêlés les aspects physique, physiologique et psychologique. En fait, nos ambitions sont ici beaucoup plus modestes : nous allons tenter de discerner ce qui fait naître la sensation de couleur, et préciser les premières notions de la colorimétrie, la science des couleurs.

II. - LA SENSATION DE COULEUR

A première vue — si j'ose dire — la couleur

apparaît comme une propriété particulière des objets, ou de la lumière, selon le cas.

Ainsi, nous savons parfaitement faire la différence entre deux objets, disons deux foulards pour fixer les idées, parfaitement identiques à tous points de vue : taille, texture, tissu, sauf un, que nous appelons précisément la couleur. Pareillement, tout un chacun sait reconnaître dans la rue un feu rouge d'un feu vert.

Il est facile de s'assurer — et nous n'insistons pas sur ce point — que la propriété "couleur" est exclusivement liée au sens de la vision quoi que puissent prétendre certains adeptes de la parapsychologie : les yeux fermés, vous pouvez peut-être acheter, mais certainement pas faire la différence entre une cravate bleue et une cravate rouge.

De là à attribuer l'origine de la couleur à la lumière, il n'y a qu'un pas, que nous franchirons certes, mais sur la pointe des pieds. Il n'y a rien, en effet, dans la lumière, à quoi nous puissions accrocher une étiquette du genre "vert" ou "orange".

La couleur est bien provoquée par la lumière que captent nos yeux, mais elle naît — et ne naît que — dans notre cerveau, pour être plus précis au niveau de l'hypothalamus, s'il faut en croire des travaux récents.

En conséquence, parler comme tout le monde de lumière rouge ou bleue est à proprement parler un abus de langage. Des expressions telles que "cette lumière constitue un stimulus érythro-gène (ερυθροσ, rouge) ou céru-logène (εκερυλοσ bleu)" seraient mieux appropriées...

Foin de pédantisme. Il est tout aussi efficace d'utiliser les expressions habituelles, d'autant plus qu'attribuer une couleur aux objets se révèle, en fait, très utile dans la vie quotidienne. Dans le même ordre d'idées, il est très difficile de convaincre quiconque a observé un laser He-Ne que la lumière émise n'est pas rouge.

Soit. Mais alors qu'est-ce qui, dans la lumière, fait naître la sensation de couleur ?

Depuis les célèbres expériences de Newton, nous connaissons une partie de la réponse à

cette question : la sensation de couleur est intimement liée à la composition spectrale de la lumière, à la manière dont l'énergie est répartie entre les diverses radiations monochromatiques qui la constituent.

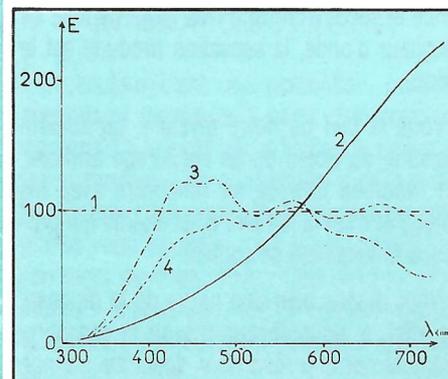


Figure 1. - Composition spectrale de la lumière "blanche" émise par diverses sources étalons de la CIE.

- 1) Spectre équinergetique.
- 2) Ampoule à filament de tungstène.
- 3) Lumière du jour.
- 4) Lumière du Soleil

E : énergie relative ; λ : longueur d'onde en nanomètres.

Nous nous représentons la lumière comme une onde, comme une ride à la surface de l'eau. Mis en présence d'une lumière quelconque, nous savons la "démonter", la décomposer — un peu comme un mélomane averti isole à l'oreille, dans une symphonie, les instruments de l'orchestre — en éléments que nous jugeons plus simples. Nous les nommons ondes monochromatiques et les caractérisons par leur longueur d'onde : de l'ordre d'un demi-millimètre de millimètre (micromètre, μm) pour celles auxquelles est sensible l'œil.

Nous savons aussi produire directement de telles ondes, par exemple à l'aide d'un laser : ainsi la lumière émise par le laser hélium-néon dont nous parlions tout à l'heure a pour longueur d'onde 0,6328 μm .

Le point important est que chaque onde monochromatique produit une sensation colorée particulière, du violet pour les plus courtes longueurs d'onde (0,4 μm) au rouge pour les plus grandes (0,8 μm) en passant par toutes les nuances de l'arc-en-ciel. Qui plus est cette sensation est directement liée à la longueur d'onde : si nous savons qu'une radiation est monochromatique et si nous voyons qu'elle est jaune, alors nous savons qu'elle est associée à une longueur d'onde de l'ordre de 0,55 μm .

Mélangions plusieurs ondes monochromatiques. Il en résulte une nouvelle sensation colorée, dont la nuance dépend des constituants du mélange et de leur proportion rela-

tive : l'association du bleu et du rouge donne toute la gamme des pourpres, du magenta au carmin.

Quand les constituants sont en proportions convenables — grosso-modo de même importance et recouvrant une très large gamme de longueur d'onde, la sensation produite est le blanc.

Voilà la clef de notre mystère. La lumière blanche, du Soleil ou de l'éclairage artificiel, est modifiée lors de sa rencontre avec les objets, et c'est la lumière ainsi altérée qui provoque la sensation de couleur.

Nous disons bien une partie de la réponse. En effet, si nous savons prévoir la sensation produite par une répartition spectrale connue — c'est ainsi que nous "mesurons" la couleur — nous ne pouvons pas, sauf exception, effectuer l'opération inverse, c'est-à-dire déterminer la composition spectrale à partir de la sensation produite, pour la bonne raison que plusieurs répartitions peuvent produire la même sensation.

III. - MÉLANGES DE COULEURS.

Tous les enfants savent obtenir de nouvelles couleurs en mélangeant celles de leur boîte de peinture, et sont en général fort étonnés de constater que l'étape ultime est invariablement un gris terne fort peu attrayant.

Cette découverte est l'un des aspects de ce qu'il est convenu d'appeler "mélange de couleurs". Là encore, le terme est imprécis, et une expression du genre "modification du stimulus chromogène" serait plus appropriée, de même que "produit laitier congelé" conviendrait mieux que "crème glacée". Ne soyons pas plus royaliste que le roi, et conservons l'expression consacrée.

III. - 1 - MÉLANGE SOUSTRACTIF.

L'expérience précédente est un exemple de mélange soustractif, où une fraction de la lumière est absorbée, donc soustraite à la lumière incidente, plus précisément, nous voyons les objets, avons nous dit, parce qu'ils diffusent une partie de la lumière que leur envoient les sources lumineuses. Cette diffusion résulte, soit d'une réflexion (objets opaques), soit d'une transmission (objets diaphanes).

Dans tous les cas, nous pouvons mesurer le facteur de réflexion — ou de transmission — rapport de l'énergie diffusée à l'énergie incidente. Il se trouve qu'en général, ce facteur

dépend de la longueur d'onde, et quelquefois considérablement.

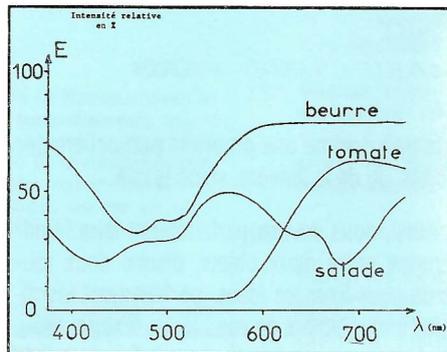


Figure 2 - Variation du pouvoir réflecteur de divers objets, en fonction de la longueur d'onde. Echelle des ordonnées arbitraires.

Chaque fois que la lumière traverse un nouveau filtre, une partie plus ou moins importante selon la longueur d'onde en est absorbée, ce qui modifie la sensation colorée.

Ainsi le passage de la lumière du Soleil à travers une forte épaisseur d'atmosphère en élimine les radiations bleues et vertes. La sensation colorée provoquée par les radiations subsistantes est celle du rouge orangé, couleur du soleil couchant.

Changeons le spectre de la lumière incidente, et nous changeons la couleur de l'objet. Ce problème est bien connu des couturiers et aussi des élégantes qui ne se maquillent pas de la même façon pour une garden party que pour un souper aux chandelles.

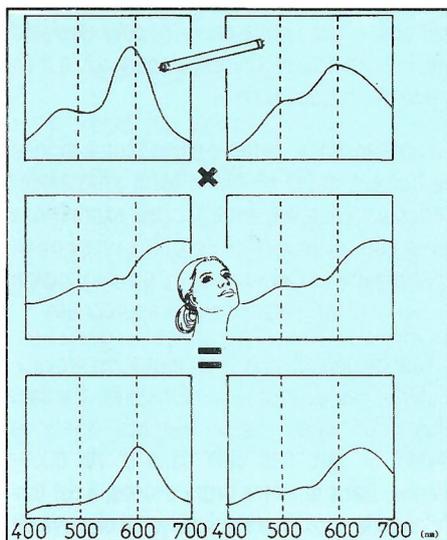


Figure 3 - Influence de la lumière d'éclairage sur le rendu des couleurs.

En haut, spectre de la lumière émise par deux modèles de tubes fluorescents.

Au milieu, facteur de réflexion de la peau humaine.

En bas, spectres de la lumière diffusée par un visage. Celui de droite est plus proche que l'autre de celui obtenu en lumière du jour.

Un autre facteur important est l'intensité lumineuse, du moins pour certaines couleurs : si le bleu, le rouge et le vert sont peu affectés quand elle baisse, le blanc devient gris, le jaune vire au marron, le vert-jaune au kaki et... l'orange au chocolat.

Signalons toutefois que, dans la grande majorité des situations de la vie courante, l'œil rétablit la couleur dont il a l'habitude. Cette particularité, dite constante des couleurs, est encore inexplicée à l'heure actuelle.

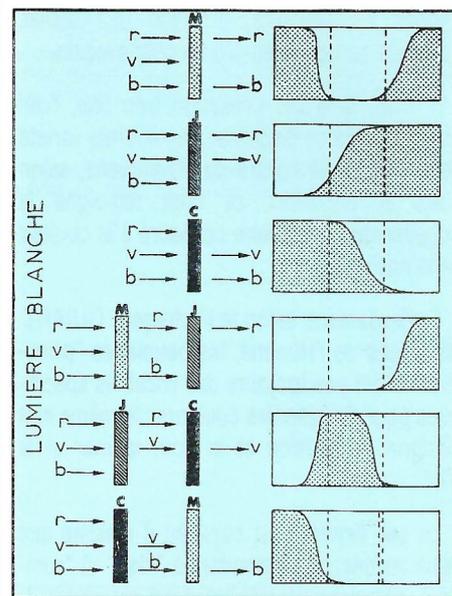


Figure 4 - Action de trois filtres et de leurs combinaisons sur la lumière blanche. A droite, spectres des lumières transmises.

M. Magenta ; J. Jaune ; C. Cyan ; r. rouge ; v. vert ; b. bleu.

III. - 2 - MÉLANGE ADDITIF.

Au lieu de soustraire de la lumière, nous pouvons combiner plusieurs faisceaux lumineux provenant d'autant de sources différentes, par exemple en les superposant sur un écran diffusant dont le pouvoir de réflexion, ou de transmission, est indépendant de la longueur d'onde, un écran blanc. Ceci revient à ajouter les énergies correspondantes, d'où le nom de mélange additif. Là encore, nous modifions la composition spectrale de la lumière pénétrant dans l'œil, et provoquons une sensation de couleur. Ainsi, la combinaison du bleu et du rouge produit toute la gamme des pourpres.

Un cas particulier intéressant est le suivant : il se peut que le mélange de deux lumières colorées donne une sensation de blanc ou de gris. Ces deux couleurs sont dites complémentaires.

Donnons un exemple : la couleur complé-

mentaire du jaune-vert est un pourpre violacé, dit teinte sensible, pour la raison suivante : une très faible modification de la composition spectrale provoque une variation importante de la sensation produite, vers le bleu ou vers le rouge, selon les cas. Au siècle dernier, où l'œil constituait le principal moyen d'observation, cette couleur joua un rôle important, entre autres pour les mesures interférentielles et l'étude de la polarisation.

Le mélange additif que nous avons décrit suppose implicitement que les deux sources de lumière éclairent en même temps la même portion d'écran. En fait, cette condition n'est pas indispensable. Nous obtenons le même résultat en juxtaposant dans l'espace ou dans le temps des stimuli visuels non résolus.

L'une des manifestations de cette particularité est l'expérience bien connue du disque de Newton, constitué de secteurs colorés, et qui paraît grisâtre quand on le fait tourner assez rapidement. C'est aussi le principe de la télévision en couleurs : l'écran est constitué d'une mosaïque de pastilles lumineuses émettant des lumières rouge, verte et bleue, respectivement, et dont la combinaison permet d'obtenir les diverses sensations colorées.

Sans doute aussi connue est la technique pointilliste utilisée par divers impressionnistes comme Signac, Seurat et Monet, pour ne citer que les plus célèbres. Leurs tableaux sont réalisés par petites touches de couleur qui se fondent en une sensation unique quand on les voit d'assez loin. Notons en passant que ces touches sont trop grandes pour être vraiment confondues à la distance normale d'observation, ce qui crée un effet particulier.

III. - 3 - TRIVARIANCE VISUELLE - COULEURS PRIMAIRES

L'œil, et c'est un fait d'observation courante, ne compare que très mal deux couleurs vues successivement. Par contre, il est capable d'apprécier avec une bonne précision l'identité d'aspect de deux plages voisines. Il est donc relativement aisé de comparer de ce point de vue deux lumières, même — et surtout — si leurs compositions spectrales ne sont pas identiques.

Le résultat le plus important de ces expériences, conduites par Newton, puis par Young, Maxwell, von Helmholtz et d'innombrables physiologistes et psychologues est que l'identité d'aspect peut toujours être obtenue en constituant l'une des plages par un mélange de trois couleurs, toujours les

mêmes, seules leurs proportions relatives variant d'une expérience à l'autre.

Ces trois couleurs, dites primaires, doivent être choisies de façon qu'aucune d'entre elles ne puisse être obtenue par combinaison des deux autres, et qu'elles fournissent la gamme la plus étendue possible. Le choix n'est pas unique, mais l'on retient en général le bleu, le rouge et le vert pour les mélanges additifs, et le cyan, le jaune et le magenta pour les mélanges soustractifs.

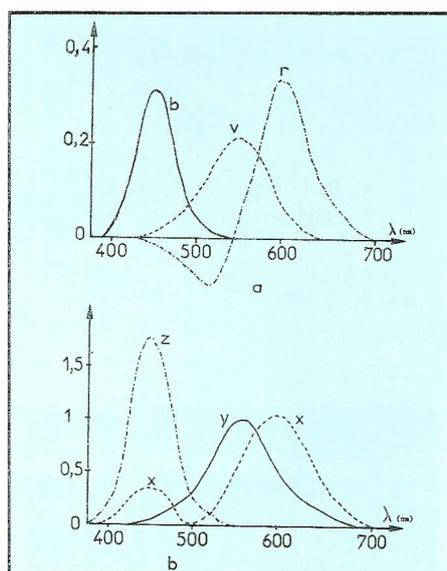


Figure 5 - Variation, en fonction de la longueur d'onde, des coefficients d'équilibre des radiations monochromatiques.

- a) Système colorimétrique RVB.
- b) Système colorimétrique CIE.

Dans le système RVB, certains coefficients peuvent être négatifs, ce qui est exclu par construction dans le système CIE.

Cette propriété, la trivariance visuelle en termes techniques, est probablement liée à l'existence dans l'œil de trois types de cellules rétinienne (cônes) sensibles au bleu, au vert et au rouge, respectivement. Toutefois, il est avéré que les signaux électriques provenant de ces cellules subissent de nombreuses transformations avant d'arriver dans les zones cervicales où naît la sensation de couleur, et les choses ne sont sans doute pas aussi simples.

Signalons tout de même que ces cellules ont un spectre de réponse assez large, ce qui permettrait d'interpréter les expériences de Land selon lesquelles il suffit de deux couleurs primaires pour recréer l'ensemble des sensations colorées.

Quoi qu'il en soit, la trivariance visuelle est à la base de la colorimétrie, de la "mesure" ou plutôt du repérage des couleurs, dont nous allons parler à présent.

IV. - COLORIMÉTRIE.

Le temps est venu de mettre un peu d'ordre dans la masse de faits expérimentaux que nous venons de rappeler.

IV. - 1 - ATTRIBUTS DES COULEURS

La couleur étant une perception, nous ne pouvons la décrire qu'à partir d'observations visuelles. Or elle est très difficile à spécifier de façon absolue — ou quantitative si vous préférez. Essayez par exemple de décrire par téléphone votre nouvelle robe ou la cravate que l'on vient de vous offrir... Cela tient — entre autres — au fait que l'œil (le cerveau) n'a pas la mémoire des couleurs, non plus que celle des éclaircissements.

Il s'agit là d'un problème très important, en particulier dans l'industrie des peintures et dans celle des textiles. Il est d'expérience courante qu'il est préférable d'acheter d'un coup tout son papier peint ou toute sa peinture pour être assuré de ne pas devoir juxtaposer deux morceaux de nuances différentes.

Ceci a donné naissance à toute une variété de nuanciers, en fait des échantillons des couleurs réalisables. Quiconque a un jour commandé un catalogue de fils à tricoter comprendra immédiatement le problème.

Divers essais de systématisation ont été tentés, comme le Munsell Book of colours, aux Etats-Unis, au Japon et au Royaume-Uni, ou la DIN Farbenkarte, en Allemagne et en Europe centrale. Toutefois, dans la plupart des cas, chaque corporation utilise son propre système, ce qui ne facilite pas toujours la communication...

Il convient donc de définir un langage commun, en l'espèce plusieurs attributs qui permettent de décrire une couleur, par comparaison avec d'autres connues.

De nombreuses études psychologiques ont montré qu'il suffit de trois attributs pour spécifier une couleur : ce sont la teinte, la saturation et la luminosité.

La teinte est associée aux noms usuels de couleurs : bleu, violet, orange... Pour le physicien, cette qualité est associée à la radiation monochromatique la plus proche d'aspect, d'où le nom de longueur d'onde dominante. Dans le cas des pourpres, qui ne peuvent être associés à aucune radiation monochromatique, on convient de choisir la longueur d'onde dominante de la couleur complémentaire.

La saturation indique dans quelle mesure la couleur en question diffère du blanc. On parle pour la traduire de couleur plus ou moins saturée ou, a contrario plus ou moins lavée. Le physicien, lui, utilise un facteur de pureté, que nous définirons un peu plus loin.

La luminosité nous indique si la couleur est claire ou foncée. Pour le physicien, il s'agit simplement de la luminance, au sens photométrique du terme. Bien entendu, ces attributs ne sont pas les seuls imaginables, et le langage courant en utilise d'autres, combinaison des précédents. Ainsi, une couleur vive est à la fois claire et pure, tandis qu'une couleur rabattue est foncée et lavée.

Un cas particulier important est celui des gris, y compris le noir et le blanc. Ils n'ont ni teinte ni saturation, si bien qu'un seul attribut, la luminosité suffit à les caractériser. Le noir est l'absence totale de lumière, ce que traduit au fond la locution populaire "noir comme dans un tunnel".

Signalons à ce propos que le mélange de noir et de blanc fournit toujours un gris, particularité utilisée dans la photographie en noir et blanc et dans la reproduction typographique des documents.

Ces attributs sont d'utilisation courante, tant dans l'art que dans l'industrie et en psychophysologie de la vision. Toutefois, ils manquent de précision et ne permettent que difficilement de prévoir le résultat du mélange de deux couleurs, aussi s'est-on orienté vers une représentation un peu différente, les systèmes colorimétriques, basés sur la trivariance visuelle et l'identité d'aspect de deux plages.

IV. - 2 - LOIS DE GRASSMANN

Nous avons signalé la possibilité d'équilibrer une sensation colorée quelconque par un mélange en proportions convenables de trois radiations de composition spectrale déterminée. Nous pouvons traduire ce résultat expérimental par une équation symbolique :

$$S_a = m.S_1 + n.S_2 + p.S_3$$

où m , n , et p sont des coefficients sans dimensions et où S_1 , S_2 et S_3 sont exprimés en unités convenablement choisies, par exemple d'énergie.

Cela étant, Maxwell et Grassmann ont montré que ces lois sont linéaires.

Par exemple, la sensation S_b telle que :

$$S_b = k.m.S_1 + k.n.S_2 + k.p.S_3$$

a mêmes teinte et saturation que S_a . Seule sa luminosité en diffère.

De même, si nous avons l'équilibre visuel :

$$S_o = m'.S_1 + n'.S_2 + p'.S_3$$

alors :

$S_a + S_c = (m + m')S_1 + (n + n')S_2 + (p + p')S_3$ qui exprime que le mélange de S_a et S_c a même apparence visuelle que celui de S_1 , S_2 , et S_3 dans les proportions de $m + m'$, $n + n'$ et $p + p'$.

Le choix de trois couleurs de base S_1 , S_2 , et S_3 est précisément celui des trois primaires indiqué ci-dessus. Il définit un système colorimétrique comme le choix des axes définit un repère en mécanique.

L'inconvénient des systèmes construits à partir de trois couleurs réelles, par exemple celles fournies par trois filtres colorés, est de ne pas permettre d'équilibrer toutes les couleurs, en particulier celles des radiations monochromatiques non plus que les pourpres.

Une solution consiste à ajouter à la couleur étudiée l'une des primaires, et à équilibrer la sensation résultante à l'aide des deux autres, selon l'équation :

$$S_a + m.S_1 = n.S_2 + p.S_3.$$

Ceci revient à admettre des valeurs négatives pour m , n ou p :

$$S_a = -m.S_1 + n.S_2 + p.S_3.$$

L'autre solution, préconisée en 1931 par la Commission Internationale pour l'Éclairage (C.I.E.), et universellement adoptée depuis, consiste à choisir pour primaires des rayonnements (pas des couleurs !) tels que les trois coefficients m , n et p soient toujours positifs. Ces rayonnements primaires ne peuvent pas être réalisés expérimentalement, ce qui n'est pas gênant, le système de la C.I.E. étant destiné à des calculs colorimétriques.

L'idée de base de ces calculs est la suivante : les radiations monochromatiques du spectre visible, sont équilibrées visuellement à l'aide de trois primaires réelles convenablement choisies. L'expérience est répétée pour plusieurs centaines d'observateurs, de façon à obtenir un résultat moyen. Les résultats sont ensuite tabulés une fois pour toutes.

Cela fait, il suffit de déterminer la composition spectrale de la lumière étudiée, puis d'appliquer les lois de Grassmann pour déterminer les coefficients colorimétriques m , n et p relatifs à cette couleur. Les mêmes lois permettent éventuellement de transposer, toujours par le calcul, ces coefficients dans un autre système de primaires, quand bien même celle-ci ne peuvent pas être réalisées physiquement.

Précisons sur un exemple :

Moyennant diverses hypothèses simplificatrices, concernant en particulier la répartition spectrale de la lumière incidente et le facteur de transmission des milieux traversés par la lumière, nous pouvons admettre que la variation d'intensité lumineuse en fonction de la longueur d'onde lors d'interférences à deux ondes est donnée en valeur relative par la relation :

$$I_\lambda = \sin^2 \frac{2\pi\delta}{\lambda}$$

D'autre part, les équilibres colorimétriques fournissent, par exemple dans le système RVB (Rouge, Vert, Bleu) les valeurs r_λ , v_λ et b_λ de chacune des primaires équilibrant la radiation monochromatique de longueur d'onde λ .

Nous calculons pour chaque longueur d'onde — en fait pour des tranches d'amplitude 10 à 20 nm selon la précision requise :

$$R = \sum I_\lambda \cdot r_\lambda \cdot \delta\lambda$$

$$V = \sum I_\lambda \cdot v_\lambda \cdot \delta\lambda$$

$$B = \sum I_\lambda \cdot b_\lambda \cdot \delta\lambda$$

puis nous en déduisons les coefficients colorimétriques :

$$r = \frac{R}{R+V+B}, \quad v = \frac{V}{R+V+B}, \quad b = \frac{B}{R+V+B}$$

De même, à partir des valeurs r_λ , v_λ et b_λ déterminées expérimentalement, nous pouvons calculer les valeurs x_λ , y_λ et z_λ dans le système CIE, puis en déduire les coefficients x , y , et z , de la couleur précédente dans ce nouveau système. En fait les coefficients x_λ , y_λ et z_λ sont également tabulés et il est plus rapide d'effectuer directement le calcul dans ce système.

Inutile d'ajouter que les ordinateurs sont, là comme dans beaucoup d'autres domaines, d'un grand secours aux spécialistes de colorimétrie.

IV. - 3 - DIAGRAMMES COLORIMÉTRIQUES

Nous avons précisé qu'une sensation colorée pouvait être caractérisée par trois attributs : la teinte, la saturation et la luminosité. Or il se trouve que la teinte et la saturation sont, dans une large mesure, indépendantes de la luminosité, si bien qu'on les regroupe souvent sous le vocable unique de chromaticité. Cette particularité permet de faire abstraction de la luminosité et de représenter une couleur par un point d'un diagramme à deux dimensions, la teinte et la saturation, dit diagramme chromatique.

Si vous préférez, vous pouvez imaginer qu'il s'agit de sections d'un solide à trois dimensions, sections "perpendiculaires" à l'axe des luminosités. L'intérêt de tels diagrammes, beaucoup plus "parlants" qu'une série d'équations, est de faciliter l'étude qualitative, ou même semi-quantitative des mélanges de couleurs.

IV. - 3 - 1) CERCLE DES COULEURS.

Le diagramme chromatique le plus simple a été imaginé par Newton. C'est un cercle dont le centre est blanc et sur le pourtour duquel on porte les points représentatifs des couleurs spectrales (radiations monochromatiques) et ceux des pourpres.

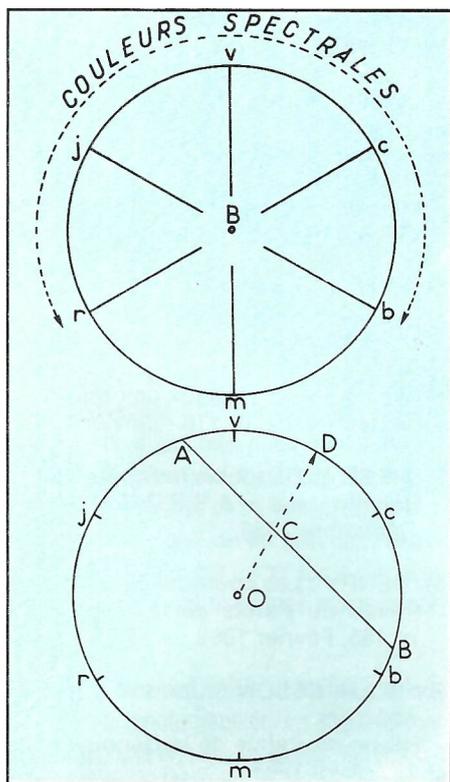


Figure 6 - Cercle des couleurs de Newton.

Le mélange, en proportions convenables des couleurs représentées par les points A et B est figuré par le point C. Sa longueur d'onde dominante est celle associée au point D, son facteur de pureté le rapport OC/OD .

Ce cercle permet d'avoir une idée du résultat du mélange additif de deux couleurs : il suffit de tracer une droite joignant les points représentatifs A et B des couleurs en question. Le point C représentatif du mélange est situé sur la droite AB et partage le segment AB dans le rapport des luminosités des couleurs correspondantes. Le rayon OC du cercle coupe la circonférence en un point D qui indique la teinte du mélange. Le rapport OC/OD est, par définition, le facteur de pureté dont nous avons parlé ci-dessus et indique approximativement sa saturation.

En particulier le mélange en proportions équivalentes de deux couleurs dont les points figuratifs sont diamétralement opposés donne du blanc. Nous avons déjà signalé que ces couleurs sont complémentaires.

IV. - 3 - 2) DIAGRAMME C.I.E.

Le cercle des couleurs est simple à construire, mais manque de précision. Le diagramme C.I.E., déduit du système colorimétrique correspondant, permet des mesures plus précises.

Pour la commodité des calculs, les points représentatifs des rayonnements primaires sont disposés aux sommets d'un triangle rectangle. Les points figuratifs des radiations monochromatiques sont répartis sur une courbe dite spectrum locus, ceux des pourpres sur une droite joignant les extrémités bleue et rouge du spectrum locus. Il est à noter que toutes les couleurs imaginables sont représentées par des points situés à l'intérieur du "fer à cheval" ainsi défini.

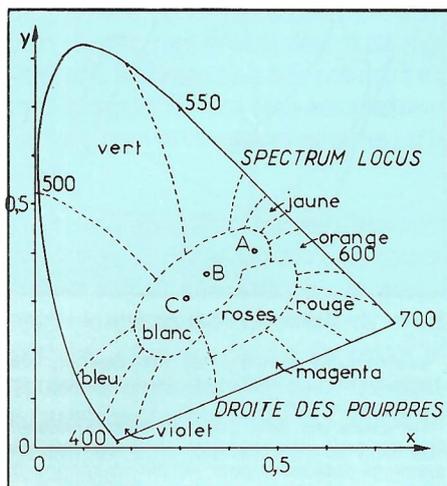


Figure 7 - Diagramme chromatique de la C.I.E.

Le "spectrum locus" est le lieu des points associés aux radiations monochromatiques. La "droite des pourpres" représente les mélanges de rouge pur et de violet pur.

Les frontières délimitant les zones de couleurs sont arbitraires.

Les points A, B, C correspondent à trois des sources étalon de la C.I.E., respectivement ampoule à filament de tungstène, Soleil et lumière du jour.

Chaque point est défini par ses coordonnées chromatiques, calculées à partir de la composition spectrale de la lumière correspondante selon le processus défini ci-dessus. Par construction, la coordonnée chromatique z est associée à la luminosité, si bien que le diagramme C.I.E. ne comporte que les coordonnées x et y.

L'usage du diagramme C.I.E. est en pratique le même que celui du cercle des couleurs. Il permet de définir avec précision le facteur de

pureté selon un processus équivalent à celui que nous avons indiqué pour le cercle des couleurs : si A et B sont les points représentatifs des couleurs composantes, T celui de leur mélange compte tenu de leurs proportions respectives et C celui du blanc, l'intersection D de CT avec le spectrum locus indique la longueur d'onde dominante — ou celle de sa couleur complémentaire pour un pourpre — et le rapport des distances CT et CD, que nous savons calculer, le facteur de pureté du mélange.

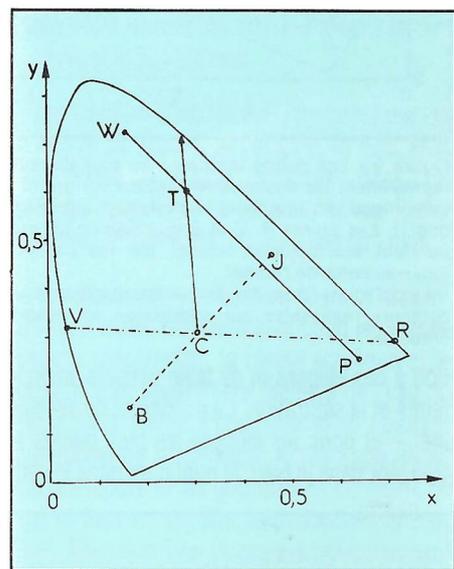


Figure 8 - Utilisation du diagramme C.I.E.

Les points associés aux lumières résultant du mélange additif des couleurs associées aux points V et R, ou B et J, ou W et P sont situés sur les droites VR, BJ, WP respectivement (le point T par exemple représente la couleur obtenue par mélange d'une forte proportion de W et d'une plus faible de P).

Les droites BJ et VR passent par le point C associé à la lumière blanche. B et J d'une part, V et R d'autre part sont complémentaires.

La droite CT permet de déterminer la longueur d'onde dominante de T, soit D, et son facteur de pureté, égal au rapport CT/CD .

Il est bien entendu possible de représenter sur le diagramme C.I.E. des primaires physiquement réalisables. Les seules couleurs effectivement obtenues par mélange additif à partir de ces primaires sont en gros celles contenues dans le triangle dont les sommets sont associés à ces primaires. Cette règle donne encore les possibilités d'un mélange soustractif, mais avec moins de rigueur.

Une autre application, importante pour l'industrie des couleurs, est la détermination de la sensibilité de l'œil à des petites modifications de la composition spectrale, ce que l'on appelle le seuil différentiel chromatique. Les travaux de Mac Adam, vers 1940, ont montré que les points correspondants sont répartis, dans le diagramme C.I.E., à l'intérieur de courbes assimilables en première approxima-

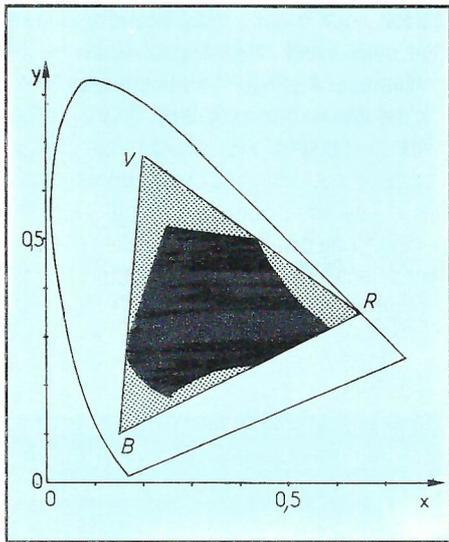


Figure 9 - Les points intérieurs au triangle RVB représentent les couleurs réalisables sur un tube cathodique en couleurs (télévision, informatique...). Les points R, V et B eux-mêmes correspondent aux couleurs émises par les pastilles lumineuses de l'écran.

Le polygone irrégulier, au centre, représente les couleurs réalisables par impression en quadrichromie.

tion à des ellipses et de taille variable selon la teinte et la saturation. Le maximum de sensibilité — et donc les ellipses les plus petites se trouvent dans le bleu, le minimum dans le vert.

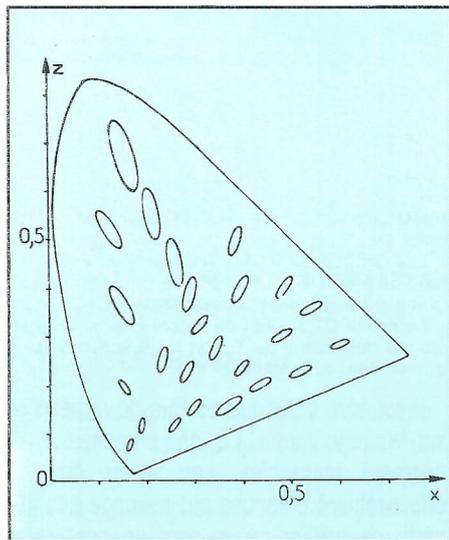


Figure 10 - Ellipses de Mac Adam. Tous les points situés à l'intérieur d'une même ellipse sont figuratifs de couleurs non distinguées par un œil normal. Les courbes réelles sont, en fait, moins régulières.

L'inconvénient du système C.I.E. tel que nous en avons exposé les principes est son manque d'uniformité, en ce sens que des distances identiques calculées à partir du diagramme ne correspondent pas à des différences visuelles équivalentes, ce que traduisent les travaux de Mac Adam.

Pour remédier à cet état de choses, la C.I.E. a proposé diverses transformations non linéaires, dont deux sont actuellement retenues : les systèmes C.I.E. LUV et C.I.E. LAB. La forme précise des transformations permettant de passer des coordonnées x, y, z , aux coordonnées l, u, v ou aux coordonnées l, a, b , est de peu d'intérêt ici. Disons simplement qu'ils s'agit de combinaisons basées sur la racine cubique et conduisant à des calculs assez complexes.

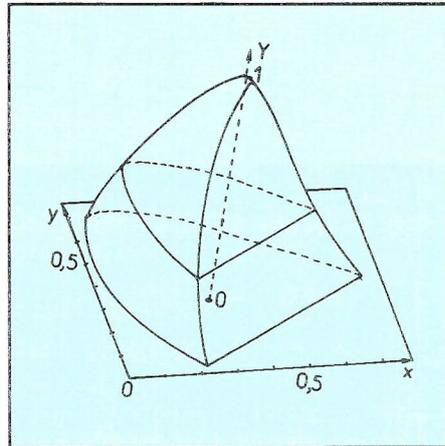


Figure 11 - Solide des couleurs dans le système C.I.E.

Les sections parallèles au plan Oxy sont des diagrammes chromatiques, l'axe vertical OY représente les luminosités.

Ce solide est tracé pour les objets diffusants éclairés en lumière du jour. Il existe des diagrammes analogues pour les autres sources de lumière.

V. - CONCLUSION.

Nous voici au terme d'un trop bref voyage dans le monde fascinant et merveilleux de la couleur. Bien que j'aie annoncé la couleur, si cet exposé vous a paru trop haut en couleurs, pardonnez-moi, mais si je vous en ai fait voir de

toutes les couleurs, alors j'aurai atteint mon but car

*L'arc en ciel le fait bien
Et personne ne lui dit rien.*

(Prévert).

BIBLIOGRAPHIE

- G. A. AGOSTON : Color theory and its applications in Art and Design. Springer Verlag Berlin 1979.
- M. DERIBERE : La couleur P.U.F. Paris 1975 (Que sais-Je n° 220).
- Y. DORDET : La colorimétrie. Principes et applications. Eyrolles Paris 1990.
- H. von HELMHOLTZ : Optique Physiologique. Masson, Paris 1867 (Réimp. J. Gabay, Paris 1989).
- M. HENRY : Optique Quantitative. Techniques de l'Ingénieur Art. A 192, Paris 1982.
- M. HENRY : Les réseaux colorés. La Recherche, n° 118 - janvier 1981.
- M. HENRY : De toutes les couleurs. Bulletin de l'A.B.P.P.C. n° 91, Décembre 1986.
- M. HENRY : Les couleurs de l'invisible. Revue du Palais de la Découverte n° 165, Février 1989.
- R. JOUANISSON : Jouons avec les couleurs. Revue du Palais de la Découverte n° 127, Avril 1985.
- P. KOWALISKI : Vision et mesure de la couleur. Masson, Paris 1978.
- Y. LE GRAND : Optique physiologique t. 2. Masson, Paris 1972.

librairie
les Volcans
d'auvergne

80, boulevard Gergovia
CLERMONT-FERRAND

LA REPRODUCTION DES COULEURS

Michel HENRY

UNIVERSITÉ PIERRE ET MARIE CURIE - PARIS

I. - INTRODUCTION

La couleur est si intimement liée à notre vie que les manifestations artistiques les plus anciennes qui nous soient parvenues témoignent déjà du souci de sa reproduction.

Au sens le plus étroit du terme, reproduire une couleur signifie recréer la composition spectrale de la lumière qui nous avait impressionnés ; le problème est alors insoluble : comment faire renaître la lumière qui nous parvenait de ce coucher de Soleil ou de ce carnaval bariolé ?

Pour certaines applications "pointues", dont la plus spectaculaire est peut-être la reproduction des couleurs interférentielles, il n'a d'ailleurs pas reçu à ce jour de réponse vraiment satisfaisante.

Fort heureusement pour nous, dans la grande majorité des cas, l'aptitude de l'œil à se laisser abuser et sa relativement grande tolérance permettent d'obtenir des résultats très satisfaisants. Il faut bien noter, toutefois, que l'appréciation du résultat est très subjective ; ainsi, les laboratoires de traitement des photographies en couleurs savent bien que l'essentiel de leurs efforts doit porter sur la carnation des visages, le reste étant jugé moins important.

Dans un domaine voisin, il est de pratique courante de photographeur, en même temps que l'objet, une échelle de teintes, de façon à mieux apprécier les couleurs réelles de l'objet. C'est le cas en biologie, en géophysique, et à fortiori pour les explorations planétaires, dont les couleurs sont évidemment inconnues.

Il est curieux de comparer la reproduction des couleurs et celle des sons. A la différence de l'œil, l'oreille sait analyser — tout musicien vous le dira — le spectre des fréquences acoustiques composant une sensation sonore. Le revers de la médaille est qu'elle est incapable de recréer un son complexe en l'absence de la totalité des fréquences qui le constituent.

C'est pourquoi il a fallu attendre le début de notre siècle pour voir apparaître les premiers procédés d'enregistrement et de reproduction mécaniques des sons, et la moitié, avec l'avènement du disque microsillon et des magnéto-

phones performants, pour obtenir des résultats vraiment acceptables.

La quasi totalité des procédés de reproduction des couleurs repose en fait sur cette aptitude de l'œil à se laisser abuser et plus précisément sur ce qu'il est convenu d'appeler la trivariance visuelle : la majeure partie des sensations colorées peut être reproduite par mélange — additif ou soustractif — de trois couleurs convenablement choisies et de trois seulement. Ces couleurs sont dites primaires et le meilleur choix est tel qu'aucune d'elles ne puisse être obtenue par combinaison des deux autres et que la gamme des couleurs qu'elles fournissent soit la plus étendue possible.

Ce choix n'est pas unique, mais l'on retient en général le bleu, le vert et le rouge pour le mélange additif, et le cyan (bleu-vert), le jaune et le magenta (rose violacé) pour le mélange soustractif. Il faut toutefois bien noter qu'il n'y a pas de séparation bien nette entre les deux procédés, nous en verrons des exemples par la suite.

Une autre contrainte résulte d'impératifs techniques : en dessin (ou peinture) comme en tissage il est aisé d'obtenir une grande variété de coloris, ce qui permet de mieux approcher la nuance originelle. Par contre, en imprimerie, en photographie ou en télévision, les contraintes sont beaucoup plus sévères, ce qui limite le choix des couleurs de base aux trois primaires.

II. - EXEMPLES DE REPRODUCTION.

Nous allons à présent voir sur quelques exemples particuliers, les problèmes soulevés par la reproduction des couleurs, ainsi que les solutions envisageables et les difficultés non résolues.

II - 1. PEINTURE - DESSIN.

Les couleurs sont obtenues par synthèse additive résultant de la fusion par l'œil d'impressions colorées non résolues. La possibilité d'obtenir à moindre coût une grande variété de nuances facilite la tâche de l'artiste et permet un plus grand choix de reproductions.

Le phénomène physique fondamental est ici la diffusion de la lumière et son absorption par les grains de colorants. Les peintures et les

encres sont une suspension de grains colorés dans un liant incolore. Les dimensions des grains sont assez variables selon le processus de fabrication, disons de l'ordre de quelques centièmes de millimètre pour fixer les idées.

Le liant dépend de la technique utilisée pour la peinture. Ce peut être de l'eau, qui s'évapore en séchant et laisse le colorant sur le support ; ce peut être aussi de l'huile extraite des graines de lin ou de certains pavots (œillette), qui se polymérise et forme un film protecteur. D'autres liants utilisés au cours des âges et quelquefois encore de nos jours sont la cire d'abeille et le jaune d'œuf.

Une mention spéciale doit être faite pour les peintures acryliques. A l'origine, le liant était une résine acrylique dissoute dans un mélange de xylol et de toluène, de manipulation assez inconfortable, pour ne pas dire plus.

Plus récemment, a été mise au point la peinture type latex, réduisant beaucoup les inconvénients précédents : la résine acrylique et le colorant sont séparément mêlés à de l'eau, la résine sous forme d'émulsion et le colorant sous forme de suspension. Après application, l'eau s'évapore et les gouttelettes de résine se lient et forment un film emprisonnant le pigment. Bien que leur principale utilisation soit dans la peinture en bâtiments, leurs qualités d'adhérence et de commodité de manipulation les ont faites adopter par beaucoup d'artistes contemporains.

Les premiers pigments utilisés par l'homme étaient des "terres" jaune, brune et rouge, en fait des argiles contenant divers composés de fer. On a retrouvé dans des sites du paléolithique supérieur (env. 40 000 AC) des fourneaux contenant des oxydes de fer prouvant que les artistes de l'époque savaient en modifier la couleur en les chauffant.

Cette technique sera reprise plus tard par les grecs pour créer leurs célèbres vases rouges et noirs : l'argile était recouverte d'une couche d'oxyde de fer formant le dessin souhaité, la cuisson en atmosphère confinée, peu ou pas oxydante, forme de la magnétite noire, tandis qu'une atmosphère libre, plus oxydante, conduit à de l'hématite rouge-brun. En jouant sur l'aération du four, le potier produisait ainsi les couleurs souhaitées.

Plus tard apparurent l'outremer, extrait du lapis lazuli, la cinabre, sulfure de mercure, la malachite, carbonate de cuivre, et bien d'autres permettant d'étendre la palette des artistes.

Notons, à ce propos, que le blanc est obtenu par suspension de grains incolores, l'apparence de "blanc" étant due aux réflexions et réfractions multiples, comme dans du verre dépoli ou... les cheveux blancs. Le noir, lui, résulte d'un pigment opaque, le plus souvent du noir de carbone, comme dans l'encre de chine, ou du graphite, comme dans les crayons.

Dans tous les cas, la couleur résulte du mélange de la lumière (blanche) réfléchi sur le dioptre d'entrée, de la diffusion et de l'absorption par les grains de pigment et de la réflexion par le support de la peinture. Ce mécanisme complexe fait qu'il est très difficile de prévoir la teinte exacte qui sera obtenue et plus difficile encore d'estimer son évolution au cours du temps.

En général, il est possible d'augmenter la saturation de la couleur en réalisant une couche plus épaisse ; la raison en est que l'on accroît ainsi la fraction de lumière ayant traversé des grains de pigment et donc colorée.

C'est à un phénomène voisin que l'on doit la différence de couleur entre une surface sèche et une surface mouillée : l'air est remplacé par de l'eau dont l'indice de réfraction est plus proche de celui des grains de pigment. Ceci diminue la fraction de lumière réfléchi à la surface des grains au profit de celle transmise et accroît donc la saturation de la couleur.

Les aquarelles "pâlissent" en séchant et, à contrario, les peintures à l'huile "foncent" parce que l'indice de réfraction de l'huile croît et se rapproche donc de celui du pigment.

À titre de curiosité, signalons qu'un insecte, **Dynastes Hercules**, utilise ce procédé pour son camouflage. Il s'agit d'une variété de scarabée vivant de bananes. Ses élytres comportent une couche spongieuse recouvrant une cuticule noire. Le jour, les pores de la couche spongieuse contiennent de l'air et diffusent la lumière, surtout vers les grandes longueurs d'onde, si bien que l'insecte paraît jaune et se confond avec les bananes. La nuit, la rosée remplit d'eau les pores. Comme l'indice de réfraction de la couche est voisin de celui de l'eau, elle devient transparente et l'insecte est noir, en raison de la cuticule sous-jacente.

II. - 2. IMPRESSION EN COULEURS.

À la différence des peintures, les encres d'imprimerie ne disposent que d'une maigre palette de pigments. Par ailleurs, les con-

traintes liées à la nécessité de produire à moindre coût et aussi vite que possible un grand nombre d'exemplaires identiques, imposent de recourir à des procédés plus simples et plus fiables, excluant entre autres les retouches locales.

Le nombre de pigments est donc limité aux trois couleurs primaires, ici le cyan, le magenta et le jaune, auxquelles est ajouté le noir pour améliorer les contrastes, les encres n'étant pas exactement les primaires souhaitées, d'où le nom de quadrichromies, procédé mis au point par Le Blon en 1722.

Il est, sinon impossible, du moins très difficile d'accroître la saturation d'une couleur par superposition de plusieurs couches, d'une part, ce qui exigerait plusieurs passages dans les rotatives et, d'autre part, les encres d'imprimerie se prêtant mal à cette méthode.

La technique utilisée consiste à tramer le cliché, c'est-à-dire à en photographier un négatif à travers un quadrillage de pas, voisin du dixième de millimètre. La théorie détaillée du tramage fait intervenir la diffraction et n'est pas très simple. Il nous suffit ici d'en retenir le résultat intéressant : le cliché tramé est constitué de tâches régulièrement disposées, mais dont le diamètre est fonction croissante de l'intensité lumineuse.

Les zones claires de l'image initiale fournissent les régions opaques du négatif intermédiaire, donc de petites tâches après tramage. Par fusion visuelle la couleur paraît fortement mêlée de blanc, donc peu saturée. C'est exactement l'inverse pour les régions sombres de l'image initiale.

L'imprimeur — ou le photographe — réalise ainsi quatre clichés : un pour le cyan, un pour le jaune, un pour le magenta et un pour le noir. Lors de l'impression, le papier reçoit successivement les quatre couleurs, ce qui forme l'image définitive. D'une couleur à la suivante, l'orientation du tramage est modifiée d'environ 30°, ce qui assure un mélange plus uniforme des couleurs et réduit la précision nécessaire à la superposition des quatre images.

Les taches de couleurs sont en partie juxtaposées, créant alors un mélange additif, et partiellement superposées auquel cas le mélange est soustractif. La quadrichromie exige beaucoup d'expérience de la part de l'imprimeur, pour assurer une taille et un alignement convenable des points, en même temps que la teinte et l'adhésion de l'encre au papier.

Reste un problème, celui de la séparation des couleurs.

Jusqu'à ces dernières années, le seul procédé pratique était la photographie de l'original à travers trois filtres de sélection : un bleu, un vert et un rouge plus les trois réunis pour obtenir le noir. Les quatre négatifs (noir et blanc) ainsi obtenus fournissaient ensuite quatre positifs tramés, comme nous l'avons vu.

De plus en plus, cette méthode est remplacée par un balayage et une numérisation électroniques. Un pinceau balaie ligne par ligne la photographie et un récepteur enregistre point par point la transmittance du film (de l'image de départ). Un système dispersif permet d'isoler les trois composantes spectrales et l'intensité lumineuse est numérisée sur 256 (2⁸) niveaux de gris. Il est possible d'atteindre des résolutions élevées, de l'ordre de 40 points par millimètre.

Après un éventuel traitement informatique, destiné à pallier certains défauts ou à modifier localement l'image, la reproduction tramée est créée par balayage, point par point, d'un faisceau laser sur une plaque photosensible, ce qui conduit aux quatre positifs permettant l'impression.

Ce procédé n'est, bien entendu, pas réservé à l'imprimerie "Professionnelle" : les progrès de l'électronique aidant, la plupart des microordinateurs personnels permettent de réaliser des impressions en couleurs, soit sur une imprimante laser, soit sur une imprimante à impact, grâce à un ruban à quatre couleurs, soit enfin sur d'autres types d'imprimantes moins répandus comme les imprimantes à jet d'encre ou à transfert thermique.

II. 3.- PHOTOGRAPHIE EN COULEURS.

Dès la découverte de la photographie s'est posé le problème de l'enregistrement automatique des couleurs.

Les premiers chercheurs, tels Becquerel, Herschel, puis Niepce de Saint Victor, un neveu de Niepce, ont tenté d'enregistrer directement les couleurs sur des plaques d'argent exposées au chlore et trempées dans du chlorure d'argent, procédé dû à Becquerel et dit "au sous-chlorure d'argent".

Ils obtiennent effectivement des couleurs, mais instables à la lumière : elles ne peuvent être examinées que "furtivement" et doivent être conservées dans l'obscurité la plus totale. Encore de nos jours, il est difficile de savoir

exactement l'origine de ces couleurs tant les conditions expérimentales sont mal définies. Toujours est-il que d'autres procédés naissent, qui vont rapidement conduire à l'abandon de cette méthode.

Le premier, qui permet également, l'enregistrement direct des couleurs, est imaginé par Becquerel et perfectionné, en 1891, par Lippman, qui lui laissera son nom et auquel il vaudra le prix Nobel en 1908.

La lumière issue de l'objet traverse l'émulsion argentique (en noir et blanc) et est réfléchie par un miroir, en fait une couche de mercure pour des raisons d'homogénéité et de planéité. Il se forme alors dans l'épaisseur de l'émulsion des ondes stationnaires puis, par réduction du bromure d'argent, de fines lames d'argent métallique distantes de $\lambda/2$. Par nature, le système réalise une véritable analyse spectrale pour toutes les radiations incidentes. Éclairé en lumière blanche sous incidence normale, cet empilement de couches détruit par interférences toutes les radiations, sauf précisément celle dont la demi-longueur d'onde est égale à la distance de deux couches voisines, c'est-à-dire celle qui a servi à l'enregistrement.

Autrement dit, les photographies en couleurs de Lippman restituent fidèlement les couleurs de l'objet et présentent l'avantage d'être inaltérables. Aujourd'hui encore, ces photographies, datant de près d'un siècle sont sans conteste les plus brillantes et les plus lumineuses.

En 1893, les frères Lumière réalisent selon la méthode de Lippman des photographies de paysages, à propos desquelles un journaliste enthousiaste écrit : "...on y observe non seulement des lumières mais aussi des ombres colorées, reproduites avec une telle vérité qu'aucun peintre réaliste n'a jamais pu et ne pourra jamais espérer obtenir à la main..."

Le procédé Lippman, si génial soit-il, était handicapé par de lourdes sujétions, qui interdiront sa diffusion auprès du grand public et signeront son arrêt de mort : il est indispensable que l'émulsion soit coulée sur une plaque de verre, de disposer d'un bain de mercure au moment de la prise de vues, d'assurer un traitement soigné pour éviter que la gélatine ne gonfle ni ne se rétracte, ce qui fausserait le rendu des couleurs, et, enfin, l'observation collective est en pratique impossible, malgré la réussite de quelques essais de projection.

En fait, aucun système d'enregistrement direct des couleurs ne réussira à se maintenir, pour les raisons que nous venons d'exposer, la complexité technique interdisant une large diffusion.

Les seuls procédés qui subsistent de nos jours sont les procédés indirects, tant négatifs que positifs et reposant sur la trivariance visuelle. Ils ont été inventés par Ducos de Hauron en 1869 et, indépendamment, la même année par Charles Cros. Toutefois les difficultés de réalisation ne les rendront pas accessibles avant la moitié du XX^e siècle, la pellicule inversible Kodachrome datant de 1935 et la pellicule négative Kodacolor de 1942.

Entre temps les frères Lumière avaient, en 1904, mis au point un procédé voisin, également basé sur la synthèse trichrome, l'Autochrome, dont nous allons dire quelques mots.

Nous allons décrire la fabrication, puis l'exposition et le traitement d'une plaque autochrome, ce qui nous permettra d'en comprendre le principe. Disons tout de suite qu'il s'agissait de créer une image en couleurs par juxtaposition d'éléments colorés, comme dans la peinture pointilliste de Seurat.

Le plus simple est de laisser la parole à Lumière lui-même :

"Si l'on dispose à la surface d'une plaque de verre et sous forme d'une couche unique, mince, un ensemble d'éléments microscopiques, transparents et colorés en rouge-orangé, vert et violet, on peut constater, si les spectres d'absorption de ces éléments et si ces éléments sont en proportions convenables, que la couche ainsi obtenue, examinée par transparence ne semble pas colorée. Les rayons lumineux traversant les écrans élémentaires orangés, verts et violets, reconstitueront en effet la lumière blanche, si la somme des surfaces élémentaires pour chaque couleur et l'intensité de la coloration des éléments constitutifs se trouve établie dans des proportions relatives bien déterminées.

Cette couche mince trichrome ainsi formée est ensuite recouverte d'une émulsion sensible panchromatique. Si l'on soumet alors la plaque préparée de la sorte à l'action d'une lumière colorée, en prenant la précaution de l'exposer par le dos, les rayons lumineux traversant les écrans élémentaires subissent, suivant leur couleur et suivant les écrans qu'ils rencontrent, une absorption variable. On a ainsi réalisé une sélection qui permet d'obte-

nir, après développement et fixation, des images colorées dont les tonalités sont complémentaires de celles de l'original".

Après de nombreux essais, le choix de Lumière se porta, pour les écrans colorés, sur de la féculé de pomme de terre. Après calibrage à 10 à 15 micromètres dans un courant d'eau, trois lots de grains étaient teintés en orangé, en vert et en violet, respectivement, puis mélangés en proportions telles que l'ensemble n'ait aucune couleur dominante. Ce mélange était étalé en couche mince sur une plaque de verre, écrasé sous une pression de l'ordre de 5000 bars, de façon à rendre transparents les grains de féculé, recouverts d'une couche isolante de vernis puis d'une émulsion argentique.

La plaque était ensuite normalement exposée, la lumière pénétrant par le dos pour traverser la couche de féculé avant de rencontrer l'émulsion, ce qui assurait la décomposition spectrale.

Un développement négatif normal, rendant opaques les parties éclairées, fournissait une image aux couleurs complémentaires de l'original. Pour obtenir une diapositive, il suffisait d'inverser chimiquement l'émulsion argentique.

Le mérite de Louis Lumière est d'avoir, non seulement réalisé son procédé, mais aussi et surtout d'avoir imaginé les machines permettant de produire en série des plaques autochromes. En 1913, l'usine Lumière fournissait près de cent mille plaques par jour, et cette production se poursuivit jusqu'en 1930, époque à laquelle les plaques de verre virent leur suprématie ébranlée par la pellicule souple, plus légère et moins fragile.

Les plaques autochromes, par leur commodité d'emploi, firent — au sens propre — le tour du monde : entre 1909 et 1930, le financier Albert Kahn envoya plusieurs équipes de photographes placés sous la haute autorité du géographe Jean Brunhes pour enregistrer "Les Archives de la Planète", "des aspects, des pratiques, des modes de l'activité humaine, dont la disparition fatale n'est plus qu'une question de temps". Plus de 72 000 clichés furent ainsi rassemblés, témoignage unique et irremplaçable de l'histoire du monde au début du siècle.

Le destin le plus étrange est celui d'une collection de plaques, emportées en 1912 par une expédition sur le continent antarctique, aban-

données à la suite d'un accident qui coûta la vie à deux des explorateurs, retrouvées en 1950, retournées à la Société Lumière où un vieil employé put s'assurer qu'elles permettaient toujours d'obtenir des clichés parfaits.

A noter que les clichés étaient, pour la plupart, rapportés en France avant développement et que les photographes n'avaient pas toujours le temps d'effectuer le travail entre deux missions, si bien qu'il reste de nos jours des plaques non traitées.

Depuis quelques années, le Conseil Général des Hauts-de-Seine, propriétaire de la villa et des jardins d'Albert Kahn, à Boulogne, a entrepris le classement et la restauration de cette collection pour la présenter au public dans les meilleures conditions possibles.

Outre la sujétion des plaques de verre, les autochromes présentent l'inconvénient d'une forte granulation, qui interdit les agrandissements. Les émulsions actuelles pallient cette difficulté en réalisant la séparation des couleurs par absorptions successives : le film, positif ou négatif, comporte schématiquement trois couches.

La première, dans l'ordre où la lumière les rencontre, est une émulsion d'halogénure d'argent pur, sensible dans les parties bleue et violette du spectre ; la deuxième est sensibilisée dans le vert, la troisième dans le rouge, par addition de composés convenables. Un filtre jaune, placé immédiatement après la première couche élimine les radiations bleues auxquelles restent sensibles les deuxième et troisième couches. En fait, ce schéma est très simpliste, et les émulsions réelles comportent une douzaine de couches, pour améliorer entre autres le rendu des couleurs et la latitude de pose.

Après exposition, le film est développé comme un négatif, puis l'argent est remplacé par des colorants, après inversion chimique pour les diapositives. Ces colorants sont de teinte complémentaire de la sensibilité de la couche correspondante, ce qui donne un négatif couleur sans inversion et une diapositive après inversion, par mélange soustractif.

Dans certains cas (Kodachrome), les colorants sont introduits au cours du traitement, ce qui impose de faire développer les films dans un laboratoire spécialisé. Dans d'autres (Ektachrome), ils sont introduits dans le film lors de la fabrication sous forme de copulants spécifiques. Un seul bain, le développement chromogène, fait apparaître les colorants appro-

chés dans Chaque couche. Ceci facilite le traitement et le met à la portée d'un amateur. Beaucoup d'artistes photographes ou de scientifiques préfèrent cette solution qui leur permet éventuellement de modifier les conditions du développement — à leurs risques et périls — pour créer des effets spéciaux, par exemple.

Dans le même ordre d'idées, il est tout à fait possible de sensibiliser les diverses couches à d'autres radiations que celles du spectre visible, l'infrarouge par exemple. Après traitement, les différences d'émissivité dans telle ou telle bande spectrale sont traduites par des différences de couleurs, ce qui en facilite l'examen et l'interprétation. Ces couleurs, conventionnelles, sont traditionnellement nommées "fausses couleurs", ce qui, à proprement parler constitue un abus de langage.

II. - 4. ÉCRANS DE TÉLÉVISION ET D'ORDINATEURS.

Les couleurs sont créées par synthèse additive, l'écran étant une mosaïque de pastilles émettant les trois couleurs primaires, bleu, vert, rouge.

Dans le tube cathodique, ces pastilles sont formées d'une substance cathodoluminescente, c'est-à-dire émettant de la lumière visible sous l'impact des électrons.

Parmi les substances utilisées citons, à titre d'exemple : le tungstate de calcium pour le bleu (430 nm), le sulfure de zinc dopé au cuivre pour le vert (540 nm) et le sulfite d'yttrium dopé à l'europlum pour le rouge. Là encore, les divers phosphores utilisés par les fabricants sont couverts par le secret professionnel, et il est difficile d'obtenir des renseignements précis.

La plupart des tubes actuels comportent trois canons à électrons, un par couleur et une grille (ou masque) permettant à chaque faisceau électronique de ne rencontrer que les pastilles de "sa couleur".

Lors de la prise de vues, les trois composantes bleue, verte et rouge de la lumière sont isolées par des filtres. Toutefois elles ne sont pas transmises telles quelles pour plusieurs raisons, dont les principales sont :

la limitation de la largeur de bande attribuée à chaque émetteur, de l'ordre de 6 MHz, la fréquence de la porteuse étant de l'ordre de 100 MHz.

la compatibilité entre les récepteurs "noir et

blanc" et les récepteurs "couleur", un récepteur du premier type devant permettre la réception d'une émission "couleur".

La solution communément adoptée est de combiner électroniquement les signaux R, V, B provenant de la caméra de prises de vues pour séparer la luminance de la chrominance. La luminance contient — et ne contient que — l'information sur l'intensité lumineuse. C'est elle qui permet la réception en "noir et blanc".

Les signaux dits de chrominance portent les informations sur la couleur (teinte et saturation). Divers choix sont possibles, en fonction des contraintes techniques (faisabilité, fiabilité, qualité), économiques et aussi politiques, ce qui explique la nécessité de disposer d'un récepteur adapté à chaque type d'émetteur (SECAM en France, PAL en Grande-Bretagne et en Allemagne, NTSC aux Etats-Unis...).

A titre d'exemple, le système SECAM transmet deux signaux de chrominance, l'un obtenu par combinaison du signal "bleu" et du signal de luminance Y, l'autre par combinaison du signal "rouge" et du signal de luminance Y. Dans le récepteur, les trois signaux Y, B-Y et R-Y sont à nouveau combinés pour en extraire les trois signaux R, V, B, qui pilotent les trois canons à électrons.

Le tube cathodique présente des inconvénients, entre autre la nécessité de faire le vide dans une ampoule de grandes dimensions et d'alimenter les circuits sous haute tension. Ces inconvénients auraient entraîné depuis longtemps sa disparition n'était son avantage principal, la commodité de déplacement du faisceau électronique et donc d'adressage des divers points de l'écran.

Depuis longtemps, chercheurs et ingénieurs tentent de conserver cet avantage en éliminant les inconvénients. L'une des voies les plus prometteuses à l'heure actuelle, est constituée par les écrans plats. Une société japonaise commercialise depuis peu un poste de télévision couleur de poche, ne consommant que quelques watts, avec un écran d'une dizaine de centimètres de côté. Le principal problème technologique à résoudre est l'extension à des écrans de taille comparable à ceux des récepteurs de télévision actuels.

Le principe de reproduction des couleurs est le même : séparation trichrome lors de la prise de vue, puis adressage séparé de trois éléments par pixel, un bleu, un rouge et un vert, pour obtenir les couleurs par synthèse additive.

Plusieurs techniques sont actuellement étudiées, la plus avancée étant celle des cristaux liquides à matrice active, la suivante celle des composés électroluminescents.

Les cristaux liquides nématiques sont des composés organiques à longues chaînes dont les molécules peuvent se déplacer les unes par rapport aux autres, ce qui assure l'état liquide, tout en gardant la même orientation, ce qui leur confère des propriétés, optiques en particulier, comparables à celles des cristaux.

On sait réaliser des cellules à cristaux nématiques "tordus" de la façon suivante :

Deux plaques de verre sont recouvertes d'une fine couche d'oxyde mixte d'indium et d'étain, transparente mais conductrice puis assemblées après interposition d'une mince (quelques micromètres) couche de cristal nématique. Les molécules s'orientent parallèlement à une direction au contact de l'une des plaques, et parallèlement à la direction perpendiculaire au contact de l'autre plaque, leur orientation se modifiant régulièrement dans l'épaisseur de la couche de cristal.

L'ensemble est ensuite placé entre polariseurs perpendiculaires. La couche nématique ainsi préparée possède la propriété de faire tourner le plan de polarisation de la lumière, si bien qu'elle transmet la lumière incidente. Si l'on applique une tension électrique aux électrodes, l'orientation des molécules nématiques est modifiée et la cellule ne transmet plus de lumière.

Il suffit alors de donner à l'une des électrodes une forme convenable pour afficher des informations : forme directe pour les "jeux électroniques", segments pour les calculettes et les montres à affichage numérique.

Quand la quantité d'informations à présenter devient plus importante, comme sur un écran d'ordinateur ou de télévision, il est préférable de réaliser un quadrillage de points formant une matrice et de les adresser individuellement, par multiplexage.

L'adressage direct est difficile à réaliser pour un grand nombre de points, aussi préfère-t-on associer à chacun un transistor à effet de champ, qui permet de n'appliquer la tension que le temps strictement indispensable.

L'autre procédé repose sur l'effet électroluminescent, découvert en 1930 par Destriau. Certains composés, comme le sulfure de zinc dopé au cuivre ou au manganèse émettent de la lumière quand ils sont soumis à un champ électrique continu ou alternatif. Un choix convenable du composé actif permet d'obtenir les trois couleurs primaires.

Ces composés peuvent être étendus en couches minces pour former des panneaux lumineux dont rien, en théorie, ne limite les dimensions, au point que des journalistes optimistes ont proposé de remplacer l'éclairage domestique classique par des rideaux électroluminescents, permettant un éclairage plus uniforme, et dont il serait aisé de modifier la couleur et l'intensité.

Pendant longtemps, l'électroluminescence est restée une curiosité de laboratoire, en raison de la faible durée de vie des composés connus, de quelques heures à quelques dizaines d'heures, et du rendement déplorable, variant de 0,1 % à 1 %, contre 40 % pour un tube fluorescent.

Les recherches menées depuis quelques années semblent conduire à des résultats prometteurs, tant pour la consommation que la durée de vie : ainsi la société américaine Quantex propose des panneaux de 10 cm x 12 cm alimentés sous 9 V et émettant différentes couleurs. Parmi les applications proposées figurent un éclairage mobile d'atterrissage pour hélicoptères de fortune et un miroir de courtoisie lumineux destiné à équiper les modèles 1992 de la General Motors. Une autre société propose un écran plat d'ordinateur de 640 x 480 pixels, d'une durée de vie de 10 000 heures (environ 8 ans), ne consommant pas plus de 6 W.

III. - CONCLUSION.

Le problème de la reproduction des couleurs, aussi vieux que le monde, est toujours d'actualité et mobilise toujours l'énergie et le temps d'une foule de chercheurs de par le monde. De l'homme de Cro-Magnon chauffant avec précautions sa poudre d'hématite à l'électronicien du XX^e siècle combinant son circuit intégré, le but poursuivi, l'effort consenti est le même : apporter aux informations de forme et de clarté l'incomparable complément fourni par la couleur.



APPAREILS DE MESURES ÉLECTRONIQUES

P.B. MESURES

RÉPARATIONS - MAINTENANCE ÉTALONNAGE

Toutes marques

- ▶ CONTRôleURS - MULTIMÈTRES
- ▶ OSCILLOSCOPES
- ▶ ENREGISTREURS
- ▶ GÉNÉRATEURS BF
- ▶ ALIMENTATIONS
- ▶ APPAREILS DE LABORATOIRES

— Distributeur **A.O.I.P. Mesures** —

699, avenue de l'Europe, 63110 Beaumont - Tél. 73 27 61 31
S.A.V. agréé : AOIP Mesures - AVANTEC/BIOBLOCK SCIENTIFIC

P.S.M. COMPOSANTS

- ▶ Composants électroniques
- ▶ Appareils de mesure professionnels
- ▶ Matériel et outillage
- ▶ Librairie technique

22, rue St Adjutor
63000 CLERMONT-FERRAND

Tél : 73 31 13 76

Fax : 73 31 09 34

LES MÉTIERS D'ART AU LYCÉE PROFESSIONNEL D'YZEURE

Le lycée professionnel est un établissement scolaire qui assure des formations de qualité dans des spécialités déterminées. Après deux ou quatre années d'études les élèves, munis d'un CAP, d'un BEP ou d'un baccalauréat professionnel, peuvent entrer dans la vie active ou poursuivre éventuellement des études supérieures.

Nous sommes loin de l'époque où l'enseignement technique pouvait être considéré — par certains — comme une voie de garage pour les élèves en difficulté. De nos jours cet enseignement se révèle capital pour former les techniciens et les cadres nécessaires au développement économique du pays et d'abord d'une région.

Le lycée professionnel d'Yzeure, près de Moulins (Allier), accueille plus de 700 élèves, répartis en 5 filières :

- métiers d'art (cristallerie, ferronnerie) ;
- secteur hôtelier (cuisine, service) ;
- secteur industriel (maintenance, production, électronique) ;
- bâtiment (structures métalliques) ;
- tertiaire (secrétariat, comptabilité).

Chacun sait que les caractéristiques techniques évoluent rapidement à notre époque et que les demandes nouvelles modifient constamment le marché. Il est donc nécessaire de prévoir les futurs aménagements et de les adapter aux besoins futurs. C'est ainsi que, sous l'impulsion de Mme Boissonet, proviseur et de M. Panthéon, architecte attaché au Conseil Régional, un nouvel établissement a été conçu qui sera davantage ouvert sur l'extérieur, grâce notamment à un centre de documentation, un restaurant d'application pouvant accueillir des congressistes, des lieux d'exposition et de vente où les entreprises et les élèves du lycée pourront faire connaître leur savoir-faire.

Un tel établissement, dont la mise en service est prévue pour 1994, sera en mesure d'attirer de nouveaux élèves dans notre région et de valoriser son image de marque.

DES SECTIONS ORIGINALES

Le lycée professionnel d'Yzeure forme des verriers à main et des tailleurs sur cristaux. Ces

deux sections regroupent 90 élèves, garçons et filles (pour les tailleurs seulement) qui, pendant 3 ans préparent un certificat d'aptitude professionnelle. Ce diplôme est très apprécié, puisque, pratiquement, tous les élèves trouvent un débouché à l'issue de leurs études. Il leur est également possible de poursuivre ces études vers le brevet de technicien supérieur.

R. J.

LE TAILLEUR SUR CRISTAUX

ART ET TRADITION

Héritier d'une technique vieille de 200 ans, le tailleur sur cristaux est le spécialiste qui exécute à froid une taille des motifs décoratifs sur une pièce en cristal brut, en vue de l'embellir. La taille reproduit plutôt des motifs géométriques de côtes plates, biseaux et pointes de diamant. Le motif de décoration est effectué d'après un dessin, une maquette ou une pièce de cristal existante. Chaque verre, vase, cendrier, seau à champagne ou objet d'art ainsi taillé, est une pièce unique, même si elle est fabriquée selon un modèle identique.

Le tailleur sur cristaux travaille pour la verrerie à la main, secteur où la France excelle. La maîtrise du métier demande plusieurs années de pratique. S'il fait partie des meilleurs, un tailleur peut devenir graveur.

L'ATELIER DE TAILLE

Le verre moulé en usine est reçu sans décor.

Il faut tout d'abord décaloter la paraison, forme soufflée à la canne, puis procéder au fletage, c'est-à-dire à l'enlèvement du coupant de l'objet et au rebrûlage des bords grâce à des machines.

Après le compassage qui marque l'emplacement du décor, le tailleur, tenant le verre à deux mains, commence à le creuser avec des meules à gros grains pour obtenir une première ébauche des formes choisies. Il effectue alors la taille proprement dite au moyen de meules à grains fins dans les ébauches, pour

les affiner, les lisser et les parfaire. Le travail est constamment effectué sous un filet d'eau pour éviter l'éclatement du cristal surchauffé par les frottements.

Les opérations de polissage et de lustrage donnent enfin toute sa transparence au cristal.

DES PIÈCES PLUS LOURDES

Les tailleurs travaillent penchés sur les machines, coudes appuyés sur un support. Les industries du verre à la main déplacent leur production vers le décor c'est-à-dire vases et objets lourds. Or, la réglementation du travail interdit le port de certaines charges aux femmes, ce qui fait que ces dernières doivent plutôt s'orienter vers les ateliers artisanaux qui taillent des pièces plus légères, pour la verrerie de table, par exemple.

DE LA TAILLE A LA GRAVURE

Les meilleurs tailleurs peuvent devenir graveurs. La gravure est une technique qui permet d'obtenir des dessins très fins, sinueux et mats de fleurs ou de rinceaux mettant en valeur la finesse et l'éclat du cristal. C'est un travail qui demande une dextérité exceptionnelle, on la réserve aux objets de grande valeur.

PRÉCISION ET COUP D'ŒIL

Le spécialiste de la taille doit avoir une très bonne connaissance de la matière travaillée et de tous les stades de sa transformation. La maîtrise parfaite du métier nécessite une solide expérience professionnelle. Des qualités artistiques et manuelles sont indispensables, de même qu'une excellente vision et une ouïe très fine. Les risques liés à la manipulation de matériaux coupants en font un métier peu conseillé aux hémophiles.

DÉBOUCHÉS - RÉMUNÉRATIONS

Le tailleur sur cristaux peut s'employer en qualité de salarié dans des cristalleries : BACCARAT, SAINT-LOUIS, BAYEL, et des petits ateliers artisanaux de verrerie à la main, ou même en qualité d'artisan à son compte.

Cependant, 80 % des tailleurs travaillent dans les grandes cristalleries, ce qui représente environ 3 000 personnes.

On compte une quinzaine de graveurs dans l'industrie et une centaine installés comme artisans.

Pour tout renseignement, s'adresser à Madame le Proviseur du lycée professionnel, 12, rue du Repos - 03400 Yzeure (Tél. 70.44.46.62).

POUR EN SAVOIR PLUS

Bibliographie

L'explosion des matériaux, cahier de l'ONISEP n° 22

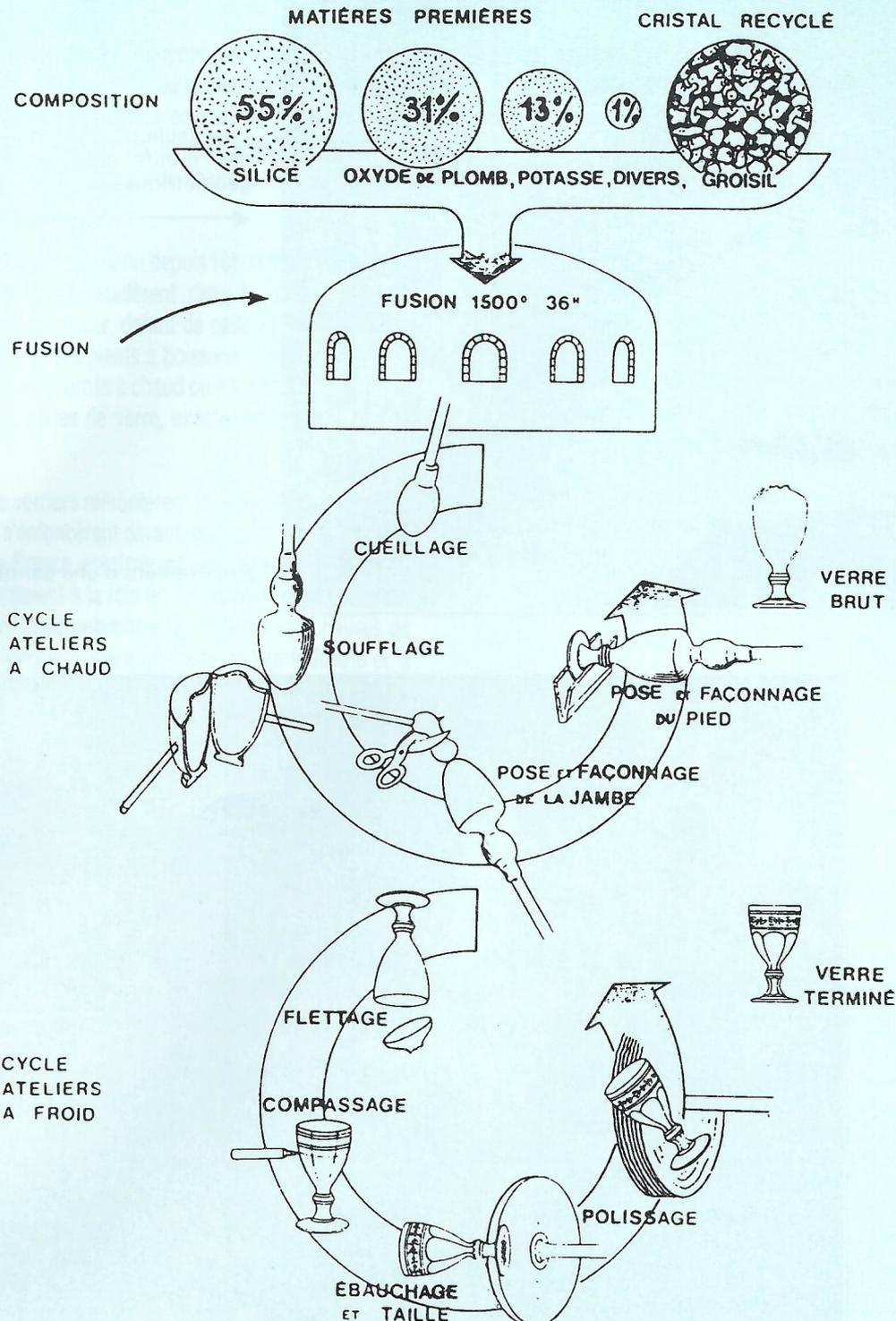
Les métiers d'art, avens n° 382-383 ONISEP

La convention collective nationale de fabrication du verre à la main, Journal Officiel

Organismes à consulter

- Les centres d'information et d'Orientation (C.I.O.)
- Fédération des chambres syndicales de l'industrie du verre, 3, rue de la Boétie, 75008 PARIS, Tél. (1) 42 65 60 02
- Fédération des cristalleries, verreries à la main et mixtes, 32, rue du Paradis, 75010 PARIS, Tél. (1) 47 70 26 42
- Consultez le minitel 36.15 code ONISEP.

DÉROULEMENT DE LA FABRICATION D'UN VERRE EN CRISTAL



Informations régionales



Le tailleur sur cristaux exécute à froid des motifs décoratifs le plus souvent géométriques.



Prélèvement d'une canne de verre dans le four.



LA BELLE HISTOIRE DU VERRE, DE L'EGYPTE EN AUVERGNE

Le verre eut probablement l'Egypte, peut-être la Mésopotamie, à coup sûr le bassin oriental de la Méditerranée pour terre natale. On situe son apparition aux environs de 1 500 avant J.C. (âge du bronze). C'est dans les tombes égyptiennes qu'on a trouvé les plus anciennes coupes de libations, colliers de verre, etc...

En France, le verre est connu depuis l'époque gallo-romaine. Les premiers verriers s'installèrent dans la basse vallée du Rhône. On a pu reconstituer, datant de cette époque, une quarantaine des types de récipients à boissons, bouteilles, flacons, etc... Ces verres étaient ornés à chaud ou à froid par des applications de fil ou de perles de verre, exactement comme de nos jours.

Plus tard, les verriers remontèrent la vallée du Rhône, s'installèrent à Lyon, s'enfoncèrent davantage encore vers le Nord, se fixèrent en Ile-de-France, essaimèrent vers l'Allemagne et la Belgique. Ils recherchaient à la fois les forêts nécessaires pour alimenter leurs fours en combustible, les régions sablonneuses où ils pourraient trouver la matière première de leur industrie et la proximité relative des grandes villes où ils pourraient écouler, auprès d'une clientèle riche et capable de les apprécier, les produits de leur fabrication.

Durant tout le Moyen-Age, la verrerie eut une coloration glauque et terne. Ce furent les vénitiens qui, les premiers, découvrirent le verre incolore vers le milieu du XVème siècle. Ils étaient passés maîtres dans l'art du verre, sachant lui donner les couleurs éclatantes des pierres précieuses. Le verrerie "à la façon de Venise" était alors fort appréciée. On l'importait directement de Murano, petite île proche de Venise.

Les secrets de ces fabrications étaient jalousement gardés. Les ouvriers, de crainte qu'ils révèlent quoi que ce soit concernant leur art, étaient étroitement surveillés et cantonnés dans leur île. Les maîtres-verriers vénitiens eux-mêmes, lorsqu'ils

étaient appelés, à prix d'or, à l'étranger, devaient prêter serment de ne dévoiler à personne les secrets de leur fabrication.

Certains de ces vénitiens établis provisoirement en France, fondèrent une famille et transmirent leurs secrets à leurs fils sans faillir à leur serment. C'est ainsi que la fabrication du verre à la main devint une spécialité française au même titre qu'italienne.

Cette industrie, dont les produits étaient de plus en plus appréciés, réussit à avoir droit de cité grâce à une série de privilèges royaux qui permirent aux verriers d'agrandir leurs ateliers et de les faire prospérer. Certains de ces privilèges sont remarquables puisque Henri III alla jusqu'à annoblir les maîtres-verriers.

Les fours à verre ont été pendant très longtemps chauffés au bois, d'où l'implantation des premières usines à proximité des grandes forêts.

En Auvergne, les lieux ont été Souvigny et maintenant : Verrerie du Marais, à Riom dans le Puy-de-Dôme ; Verrerie des Quatre Vents à Chatel-de-Neuvre, dans l'Allier et les Ateliers de taille à Souvigny - Toulon - Besson - Ygrande - Bourbon-l'Archambaud, Montmarault - Saint-Yorre - Thiers, et le vitrail à Saint-Menoux.

LA DANSE DU FEU

Pour le profane admis au rare privilège de visiter une cristallerie ou une verrerie, le spectacle qui se déroule sous ses yeux a la singulière beauté d'un cérémonial. Des gestes, des attitudes, des évolutions qui appartiennent à cet art, et à lui seul : "cueiller" dans la gueule du four une masse de matière en fusion, au bout d'une mince et fine canne d'acier, la passer de mains en mains, la balancer avec une certaine amplitude, l'élever au-dessus des têtes en un geste hiératique d'archange soufflant dans cette étrange trompette en faisant naître à son extrémité, non pas un son, mais une bulle rougeoyante.

UNIVERSITÉ ET INDUSTRIE A MONTLUÇON

Notre ami Michel Mercier, professeur au laboratoire d'Electronique de l'IUT de Montluçon, a eu l'heureuse initiative d'organiser une journée d'études ayant pour thème :

"UNIVERSITÉ ET INDUSTRIE A MONTLUÇON"

Un car, mis à la disposition des visiteurs, a permis à de nombreux scientifiques de la capitale régionale de participer à cette journée, dont on trouvera le programme ci-dessous.

Cette journée était placée sous l'égide de la Société des électriciens et électroniciens et de l'ADASTA.

PROGRAMME

9 h. 00 - Accueil à l'I.U.T., av. Aristide-Briand.

9 h. 30 - Départ en car pour Landis et Gyr.

10 h. 00 - Présentation des nouvelles activités de Landis et Gyr : compteur électronique domestique, systèmes de relèvement des compteurs.

11 h. 30 - Retour à l'I.U.T.

12 h. 00 - Visite du Laboratoire d'Electrotechnique de Montluçon : présentation du prototype de "caméra magnétique" pour l'étude de la dynamique d'un arc électrique.

Visite d'Espace Productique : présentation de la chaîne flexible de production automatisée.

13 h. 00 - Buffet à l'I.U.T.

15 h.-17 h. - Visite de la Société A.M.I.S. de forge à froid et usinage de pièces pour l'industrie automobile : intégration des contrôles des produits et des processus dans un atelier automatisé (accès avec autorisation).

17 h. 15 - Retour à l'I.U.T. de Montluçon.

19 h. 00 - Arrivée à Clermont-Ferrand.

CONFÉRENCE

LA NATURE ET LA SCIENCE

La nature semble avoir toujours constitué, pour l'Homme, un objet de contemplation et une source de mystère. Il s'est établi, entre elle et lui, un dialogue jamais achevé dont, longtemps, l'intuition poétique et le sens religieux auront été les langages principaux. Puis, complémentaire de ceux-ci plus que contradictoire, l'approche scientifique s'est introduite dans ce dialogue, lui conférant une dimension et une saveur nouvelles et fortes.

Dans le cadre d'Expo-Sciences l'ADASTA avait invité le Professeur Quéré, Professeur à l'Ecole Polytechnique et membre de l'Académie des sciences, à présenter une conférence ayant pour thème : "La Nature et la Science", le 15 mai dernier, à la Maison des Sports de Clermont-Ferrand. Nous publierons des extraits de cette conférence dans un prochain numéro.

VISITE DU LABORATOIRE NATIONAL D'HYDRAULIQUE DE CHATOU

Avec l'aide de la Direction Régionale d'E.D.F., l'ADASTA a organisé une visite du Laboratoire National d'Hydraulique, situé dans l'île de Chatou (banlieue ouest de Paris). Cette visite s'adressait essentiellement aux étudiants de licence et maîtrise du Département de Physique de l'Université Blaise Pascal. Elle a permis de découvrir quelques aspects spectaculaires de la recherche appliquée en mécanique des fluides dont nous rendrons compte dans le prochain numéro d'Auvergne Sciences.