

UNIVERSITE MONTPELLIER 2
Département de Physique

TRAVAUX PRATIQUES
DE
COLORIMETRIE

F. GENIET
novembre 2007

INTRODUCTION

I – GENERALITES ET CONSEILS PRATIQUES

Cet enseignement de travaux pratiques a pour but d'illustrer l'aspect tridimensionnel de la couleur, d'analyser les mécanismes intervenant dans la mesure des couleurs, et de dégager des méthodes de contretypage.

La théorie de la colorimétrie est basée sur le principe de la synthèse additive trichrome. Or, en Travaux Pratiques, on effectue des mélanges de matière qui sont régis par les lois de la synthèse soustractive complexe, qui ne seront vues que l'an prochain (et sont complexes !). Les quelques règles pratiques suivantes ont pour but de vous guider dans la réalisation des mélanges :

- Un mélange de colorants (peinture) dit mélange matériel est un mélange soustractif complexe.
- En général un mélange soustractif complexe provoque une diminution de la saturation ; il faut donc disposer de couleurs de base saturées.
- Ajouter du blanc augmente la clarté et modifie la saturation.
- Ajouter du noir diminue la clarté et modifie la saturation.
- Ajouter du gris isophane, c'est-à-dire de même clarté que la couleur de base, diminue en général la saturation de cette couleur mais provoque parfois un changement de teinte (les rouges violacent, les jaunes bleuissent).

Toute manipulation sur la couleur nécessite un minimum d'équipement et le respect de quelques consignes élémentaires :

- Avant toute manipulation, il est indispensable de vérifier le calibrage des appareils de mesure, de bien nettoyer pinceaux et godets.
- Après les manipulations, vous devez laisser les paillasses et votre matériel en état propre, merci.
- On réalisera des échantillons sur papier dessin, de 2,5 cm par 4 cm environ.
- La couche de peinture doit être opaque et régulière. Après séchage passer une deuxième et éventuellement une troisième couche ; sécher à chaque fois pendant 1 minute (micro onde + sèche cheveux).
- Enfin, les pinceaux ne sont pas fait pour être plongés dans la peinture jusqu'à la garde ! Utiliser la pointe seulement : on peint mieux et on abîme moins.

Dans chaque TP, la qualité des réalisations pourra être jugée à trois niveaux :

- Un niveau de base, empirique : le jugement se fait avec l'œil. La qualité des jugements est modeste mais très rapide et très utile. Dans ce dernier cas, on observera sur un fond neutre (feuille de papier blanc bien dégagée),
- on utilisera ensuite la boîte à lumière pour éviter l'influence du milieu extérieur. Les boîtes contiennent 3 sources réelles dont l'émission est analogue à celle que présenteraient les illuminants C et A et F11. En ajoutant une composante UV à l'illuminant C, on obtient sensiblement le D₆₅.
- Au niveau intermédiaire on utilise des outils psychométriques tels que le cercle des teintes ou une échelle des gris, qui conduisent à une précision acceptable par comparaison.
- Au niveau supérieur on procède à une mesure grâce à l'emploi d'appareils tels que les colorimètres.

TP proposés :

- TP 1** Classement des couleurs, Atlas de Munsell, clarté des couleurs achromatiques, teinte des couleurs chromatiques. Vous vous familiariserez avec le logiciel de colorimétrie et contrôle qualité.
- TP 2** Etude de la saturation. Vous réaliserez une chaîne de désaturation, à clarté et si possible à teinte constante. Si le temps le permet, vous fabriquerez une planche Munsell (en groupe).
- TP 3** Le contretypage par colorimétrie ; une méthode de contrôle guide la réalisation du contretype d'un standard. Notion de Métamérie.
- TP 4** Création d'une base rouge à lèvres : après un rapide brief-marketing, vous réalisez un rouge à lèvres à votre goût.
- Ou bien** Formulation d'une solution colorée à partir de la loi des mélanges soustractifs simples, loi de Beer Lambert. (option parfums ICAP)

II – APPAREILLAGE

Le colorimètre CR 200/300 Minolta est un analyseur de couleur tristimulus mesurant la couleur à partir de la lumière diffusée par réflexion d'un échantillon.

La source est une lampe à arc au xénon pulsé qui assure un éclairage diffus et uniforme de la surface de l'échantillon.

L'ensemble de mesure est composé :

- d'une tête de mesure de géométrie 45°/0° (spéculaire exclu)
- d'un calculateur
- d'un ordinateur associé à une imprimante.

La mesure est commandée à partir de l'ordinateur grâce au logiciel SpectraQC de la Société Konica-Minolta. On travaillera en général avec l'illuminant C, observateur 2°.

III – UTILISATION DU LOGICIEL SPECTRAQC

Le logiciel SpectraMagic de Minolta offre un grand nombre de fonctionnalités. Nous ne verrons ici que quelques aspects nécessaires à notre travail. Pour plus de détails, consulter les documentations Minolta.

1. Démarrage du logiciel

Lancer le logiciel SpectraMagic au moyen de l'icône sur le bureau. Si l'accueil SpectraMagic s'affiche, choisir « affichage simple ». Le logiciel ouvre alors 4 fenêtres :

- Une fenêtre donnant l'état du colorimètre, à gauche (fenêtre « paramètres d'analyse »).
- Une fenêtre donnant votre arborescence de données (références et échantillons), en haut au milieu.
- Une fenêtre contenant les données colorimétriques de vos échantillons et références, en haut à droite (« fenêtre de listage »).
- Une grande fenêtre permettant d'afficher les données d'un échantillon particulier de façon détaillée, en bas (« fenêtre de tableaux »).

Ces fenêtres sont redimensionnables comme d'habitude sous Windows. Remarquez également la présence de menus déroulants « Fichier, Edition ... », les icônes de la barre d'outils (nouveau, ouvrir, enregistrer...), ainsi que l'icône de connexion dans la barre d'état, indiquant si le colorimètre est connecté ou non. Au démarrage, le CR200/300 n'est pas connecté. C'est l'étape suivante :

2. Connexion du Colorimètre

Il nous faut en premier lieu vérifier et régler les paramètres de communication avec le colorimètre Minolta série CR 200/300, si cela n'a pas déjà été fait.

Dans le menu « Instrument / Paramètres de Communication », indiquez les paramètres suivants :

Port : COM1	Bits/sec : 4800	Bits données : 7 bits	Parité : Paire	Bits d'arrêt : 2 bits
-------------	-----------------	-----------------------	----------------	-----------------------

Ces paramètres doivent maintenant s'afficher dans la fenêtre « état de l'instrument / communication / RS232C ». Allumer alors le colorimètre, puis dans le menu « Instrument » choisissez « connecter ». Le colorimètre et l'ordinateur dialoguent alors entre eux en émettant des bips, puis l'icône de connexion affiche le mode connecté. Dans la fenêtre « état instrument », on doit voir « état communication OK », et dans « Réglage Instrument / Nom : CR-200/300 ». *Notez enfin que la communication utilise un port série, et est de ce fait assez lente. Il est inutile et même nuisible de s'impatienter et de cliquer à toute vitesse sur n'importe quoi, voire de frapper le clavier si l'ordinateur ne réagit pas immédiatement.* Utilisez votre cerveau et si vous avez un problème persistant, consultez l'enseignant. Dernier conseil, n'utilisez pas, sauf avis contraire, le clavier du CR-200/300.

3. Calibration

L'étape suivante consiste à calibrer le CR-200/300 à l'aide de la plaque de calibration blanche fournie avec l'appareil : dans le menu « Instrument »,

choisissez « Calibrage », après l'échange de données (bip bip !) une boîte de dialogue s'ouvre, vous proposant des valeurs de calibrages. Vérifier que ce sont bien celles qui figurent au dos de la plaque d'étalonnage de votre colorimètre, puis faire « Ok ». Placer la tête du colorimètre sur la plaque et faire le « calibrage du blanc » : le CR-200/300 bipe et effectue 3 flashes. Dans la fenêtre « état de l'instrument » on voit apparaître la date du dernier calibrage.

N.B. Comme dans Windows, vous pouvez utiliser les boutons « raccourci » de la barre d'outils, ou les raccourcis clavier. A vous de choisir votre mode de fonctionnement favori.

4. Choix de l'illuminant et de l'observateur

Avant de procéder aux mesures, un dernier réglage est nécessaire : celui de l'illuminant et de l'observateur choisis, qui doivent être les mêmes pour le CR-200/300 et le logiciel SpectraMagic, à savoir : illuminant C, observateur standard CIE 2°. Dans le logiciel utilisez le menu « Données/Observateurs et Illuminants », et choisissez l'observateur 2°, le premier illuminant C. Ces informations sont alors affichées dans deux les fenêtres de données (fenêtres de listage et de tableau). Pour le CR-200/300, ces données sont déjà réglées, n'essayez pas de les modifier.

Vous êtes maintenant prêt(e) à effectuer votre première mesure.

5. Mesure d'un standard (ou référence)

Dans le menu « instrument », choisissez « mesure de référence » (ou utilisez le raccourci de la barre d'outils). Dans la boîte qui s'ouvre indiquez le nom de votre référence (un nom parlant si possible : exemple « *vert pale 1* », contre exemple « *hdjklsd341z* ») et un commentaire aussi précis que possible. Placez la tête du CR-200/300 sur l'échantillon à mesurer et cliquez sur Ok. La mesure est effectuée (bips et flashes) et s'affiche dans vos différentes fenêtres. En particulier :

- dans la fenêtre des tableaux apparaissent par défaut la croix $L^*a^*b^*$ en coordonnées absolues et relatives (dL^* , da^* , db^*), ainsi que les valeurs correspondantes dans un tableau.
- Dans la fenêtre de listage, les valeurs de L^* , a^* et b^* sont affichées. Notez que l'on ne peut pas afficher les valeurs des paramètres Y_{xy} avec cette édition du logiciel. Cependant, ces valeurs sont visibles sur l'écran du calculateur associé au CR 200/300 à l'aide du bouton « Displayed Data/delete/recover ». Vous pouvez aussi les recalculer à partir des données $L^*a^*b^*$.
- La liste des paramètres affichable dans le tableau est modifiable dans le menu « Données/Liste des éléments/onglet C » et contient essentiellement (L^* , a^* , b^* , C^* , h) et les valeurs relatives associées.
- Enfin votre référence apparaît dans la fenêtre d'arborescence, sous l'icône « tri par référence ».

Si vous avez enregistré différentes références, vous pouvez les afficher simultanément dans la fenêtre de listage en cliquant sur « toutes les données/références ». Si vous souhaitez au contraire afficher la liste du standard et des échantillons qui lui sont associés (cf. ci-dessous) sélectionner une référence dans la fenêtre d'arborescence, sous l'icône « tri par référence ». Celle-ci s'affiche alors dans la fenêtre de listage.

6. Définition des tolérances d'une référence

Les tolérances associées à une référence (Cf § IV ci dessous) sont prédéfinies dans le menu « données/ réglage des tolérances par défaut » : cochez les cases dL^* , da^* , et db^* pour utiliser ces paramètres comme critères de recevabilité d'un échantillon associé à une référence. Les valeurs proposées $|dL^*| < 0.8$, $|da^*| < 0.8$, $|db^*| < 0.8$ sont arbitraires, et vous pouvez les modifier suivant vos exigences. Vous pouvez également régler les tolérances d'une référence particulière en sélectionnant celle-ci dans la liste « tri par référence » et en « cliquant droit » dessus (ou par le menu « données/tolérances »). Tous les paramètres visibles dans la fenêtre de listage peuvent être munis de tolérances (cf. par. 8 ci-dessous).

7. Mesure d'un échantillon

La mesure d'un échantillon se fait en gros suivant les mêmes principes que celle d'une référence. La différence est qu'un échantillon est en général associé à une référence pour lui être comparé, et ne comporte pas de tolérances associées. Pour associer un échantillon à une référence, sélectionner celle-ci dans la fenêtre d'arborescence, sous l'icône « tri par référence ». Utilisez alors le menu « instrument/mesure d'échantillon » (ou le bouton correspondant de la barre d'outil), et suivez la même procédure que pour un standard.

On peut modifier la référence attachée à un échantillon. Pour cela, il faut sélectionner cet échantillon dans la fenêtre de listage en cliquant sur la case numérotée de la ligne à gauche, puis utiliser le menu « outil/attacher une référence » en choisissant la référence dans la liste proposée.

On peut également réaliser des échantillons sans références, qui apparaissent dans l'arborescence sous « tri par référence/données absolues » : utiliser pour cela le menu « outil/attacher une référence/ bouton ne pas attacher à une référence ».

8. Affichage de vos données

Comme déjà vu, vous pouvez lister dans la fenêtre de listage

- tous vos standards : cliquez sur « toutes les données/ références » de la fenêtre d'arborescence.
- tous vos échantillons : cliquez sur « toutes les données/ échantillons » de la fenêtre d'arborescence.
- tous vos enregistrements associés au standard *machin* : cliquez sur « tri par référence/*machin* ».
- tous vos échantillons non associés à des références: cliquez sur « tri par référence/données absolues ».

Les informations qui apparaissent dans la fenêtre de listage (nom, commentaire, valeurs de L^* , a^* , b^* , C^* , h...) sont modifiables à partir du menu « données/liste des éléments ». Sélectionnez les éléments à afficher dans les listes de gauche, et faites les passer dans la liste de droite au moyen des flèches. Ces éléments peuvent alors être munis de tolérances (Cf. 6 ci-dessus).

Les informations qui apparaissent dans la fenêtre de tableaux (nom, commentaire, croix $L^*a^*b^*$...) sont modifiables : passer en mode édition en cochant « outils/mode édition » et insérer déplacer ou supprimer des éléments pris dans la liste du bas, comme d'habitude sous Windows.

9. Edition de vos données

Vos différents enregistrements (standards et échantillons) sont éditables à tout moment : on peut les effacer, changer leur nom et leur commentaire, les recopier dans un fichier Word ou Excel...

- pour un échantillon, sélectionner celui-ci dans la liste (cliquez dans la case numérotée à gauche), puis « cliquez droit ». Vous pouvez alors modifier titre et commentaire dans la rubrique « propriétés », supprimer cet enregistrement, ou le copier/coller, ou changer la référence associée dans la rubrique « outils/attacher une référence ».
- pour un standard, même procédure, après avoir fait apparaître la liste de tous les standards en cliquant sur « toutes les données/ références ». les standards ne sont pas éditables à partir de la liste « tri par référence ».

10. Sauvegarde des données

Ces opérations se déroulent comme d'habitude sous Windows :

Pour sauvegarder vos résultats, utilisez le menu « fichier/enregistrer » (ou le raccourci de la barre de menu), et enregistrez le fichier à votre nom et numéro de TP, dans un sous répertoire du répertoire « mes documents », mentionnant votre formation (IUP ou Lpro) ainsi que votre groupe de TP (par exemple : mes documents/IUP_G1/geniet_tp3)

Assurez-vous que vous avez bien enregistré vos données dans un fichier au bon emplacement, et pensez à faire des sauvegardes fréquentes. Vous pourrez alors y accéder à tous moment par le menu « fichier/ouvrir ».

11. Impression

L'impression de vos données se fait de la façon usuelle sous Windows, par le menu « fichier/imprimer ». Au moyen du menu « fichier/mise en page/Vue », vous pouvez choisir d'imprimer la liste de la « fenêtre de listage » (option « liste ») ou bien la « fenêtre de tableaux » (option impression). La liste ou le tableau imprimés sont ceux affichés au moment de l'impression (vous pouvez utiliser « aperçu avant impression » pour vérifier). Les éléments du tableau que vous souhaitez imprimer sont choisis dans le menu « fichier/imprimante/configuration ». La fenêtre de tableaux bascule alors en mode « vue impression », vous pouvez rebasculer en « vue affichage » au moyen de l'onglet situé en bas dans la barre des tâches. (Ne lancez pas 50 impressions à la fois SVP !).

IV) NOTION D'INCERTITUDE

Prenons un exemple concret : on mesure la clarté L^* d'un échantillon. Quelle interprétation peut on donner à cette mesure. Plusieurs notions se rencontrent ici :

a) Reproductibilité, fiabilité.

Il existe une erreur aléatoire due à la fiabilité de l'appareil de mesure, notée ici ∂L^* (notation non standard !) : celui-ci ne produit jamais le même flash, l'électronique est plus ou moins chaude... cette erreur est en générale petite ($\partial L^* \sim 0.05$), et est estimée en mesurant le même échantillon, au même endroit de façon répétée. En principe, on obtient une distribution gaussienne des résultats, dont la largeur donne ∂L^* . En pratique, deux ou trois mesures donnent une idée de ∂L^* .

b) Précision.

Passer d'un appareil à l'autre introduit des écarts importants pour la mesure de L^* . c'est une erreur systématique notée ici ΔL^* . Des valeurs aussi grandes que $\Delta L^*=2$ sont courantes entre différents appareils, ce qui pose un problème quand un industriel veut changer son colorimètre : il doit s'assurer de la compatibilité de ses anciennes mesures avec les nouvelles. Pour estimer ΔL^* , mesurer le même échantillon avec les deux appareils (travaillant dans la même géométrie, bien sûr).

c) Dispersion.

Une dispersion des résultats est due à l'échantillon lui-même. Celle-ci est notée DL^* et sa valeur varie suivant que vous travaillez dans le bâtiment, le design... pour nous $DL^*\sim 0.5$ sera courant. On estime DL^* en mesurant l'échantillon en plusieurs endroits. Il est clair qu'il est illusoire de demander un contretype à mieux que DL^* près.

d) Ecart contretype-standard.

En général noté $dL^* = L_C - L_S$. distance entre votre standard et votre réalisation. Caractérise la qualité de votre travail.

e) Tolérance à priori.

En général notée dL^*_{\max} . Cette valeur donne la tolérance que vous permettez à priori dans une reproduction d'un standard. Elle dépend de votre habileté, de votre talent, de votre temps, de votre matériel, de votre salaire... Il est souvent nécessaire de la réviser à posteriori (voir point d ci-dessus !)

f) Seuil différentiel.

Enfin, toutes ces considérations ne sont intéressantes que si on connaît le plus petit écart que peut distinguer l'œil. Cet écart noté δL^* est appelé seuil différentiel (ici de clarté), et sera évalué au cours du TP1. On peut résumer en disant que des incertitudes plus petites que δL^* ne sont pas graves, parce que on ne les verra pas. Pour les autres, il faut négocier (voir point e ci dessus).

Dans la pratique courante, tous ces écarts sont notés de la même façon dL^* , en supposant que « l'utilisateur expérimenté saura reconnaître de quoi il est question ». Attention donc à ne pas confondre ces différentes notions.

TP n° 1

NOTIONS DE COLORIMETRIE

INTRODUCTION

La caractérisation de la couleur d'un objet peut s'effectuer soit par l'observation visuelle soit par la mesure expérimentale.

Dans l'observation visuelle, l'œil associé au cerveau joue le rôle de détecteur ; la couleur d'un objet est caractérisée par les grandeurs physiologiques que sont la clarté (VALUE), la teinte (HUE) et la saturation (CHROMA).

La mesure expérimentale de la couleur permet de déterminer les paramètres physiques correspondants ; ce sont dans un premier temps la luminance visuelle relative Y , la longueur d'onde dominante λ_D et le facteur de pureté d'excitation p_e , puis les grandeurs CIE₁₉₇₆ : clarté L^* , angle de teinte h , et chroma C^* .

Nous allons nous familiariser avec ces notions par des observations d'échantillons colorés. Chaque observation visuelle sera complétée par une mesure au colorimètre de façon à bien assimiler le double aspect psychosensoriel et physique de l'étude de la couleur et de prendre conscience de la nécessité de la concordance de ces deux aspects.

- Les observations visuelles s'effectueront sur fond neutre (feuilles papier blanc), puis dans les boîtes à lumière sous différents illuminants, pour s'affranchir de l'influence de la couleur du milieu environnant.
- Les mesures s'effectueront à l'aide des colorimètres. On confrontera systématiquement les observations visuelles et les mesures, en se posant toujours la question « l'observation est-elle en accord avec la mesure ? »

Les résultats expérimentaux seront présentés autant que possible sous forme de courbes ou tableaux Excel, et les représentations graphiques seront telles que la partie utile des axes soit maximum.

Enfin pour tous les résultats présentés, une discussion des incertitudes est nécessaire : précision, reproductibilité, dispersion doivent être évaluées et comparées à votre seuil différentiel, pour la grandeur correspondante (clarté, teinte, saturation). Ce point est essentiel pour donner du sens à vos résultats. Remarquez aussi que si vous avez une incertitude de 1 sur une grandeur, il est manifestement idiot (et faux) de donner le résultat correspondant avec 5 décimales.

A – CLASSEMENT DES COULEURS – ATLAS DE MUNSELL

1) Classer rapidement les chaînes colorées qui vous sont fournies. (Attention à les observer sur un fond neutre ! La couleur des tables de TP est très mauvaise !). Quels sont les paramètres visuels que vous voyez varier dans ce classement. Revenez à cette question après avoir traité la suivante.

2) Classer les échantillons correspondant à une teinte sur la page d'atlas de Munsell qui vous est fournie. L'axe vertical correspond à la clarté, l'axe horizontal à la saturation. Observez attentivement les suites de couleurs que vous obtenez (verticalement, horizontalement, en oblique...) et apprenez à séparer vos sensations de clarté et de saturation.

Placez les échantillons X par rapport au classement que vous venez de réaliser. Quels problèmes éventuels rencontrez-vous ?

Recommencez avec une teinte différente.

B - ETUDE DE LA CLARTE

Nous nous proposons ensuite d'étudier la notion de clarté et de la mesurer par la luminance visuelle relative, puis la clarté $CIE_{1976} L^*$. Nous travaillerons sur des échantillons achromatiques afin de faciliter l'observation sans être gênés par les variations des autres paramètres. Nous utiliserons donc des échantillons dont la couleur varie du noir au blanc en passant par les gris.

I – INFLUENCE DU FOND SUR L'OBSERVATION DES COULEURS

1°) Observation visuelle

On se propose de classer des échantillons selon leur clarté.

On utilise sur la planche n° 2 les figures b, c et d.

- Comparer et classer les échantillons noirs des figures b, c, d appelés respectivement N_b, N_c, N_d .

- Comparer et classer les échantillons gris des figures b, c, d appelés G_b, G_c, G_d .

- Comparer et classer les échantillons blancs des figures b, c, d appelés respectivement B_b, B_c, B_d .

- Parmi les échantillons gris des figures b, c, d, quels sont ceux qui méritent le qualificatif de gris moyen ? Comment voyez-vous les autres ?

2°) Mesure

On utilise un colorimètre Minolta série CR 200/300 associé au logiciel SpectraQC pour mesurer la luminance visuelle relative Y et la clarté $CIE_{1976} L^*$ de chaque échantillon. Relevez l'ensemble des mesures dans les systèmes Y, x, y et $L^*a^*b^*$. (lire les valeurs de Y, x, y directement sur le calculateur du CR-200/300, au moyen du bouton « delete/recover »).

3°) Interprétation des résultats

Confronter les observations visuelles aux mesures et concluez.

III - ETUDE DE DEUX CHAINES DE GRIS

1°) Observation visuelle

Classer les échantillons de la chaîne "a" par ordre de sensation de clarté croissante. Faire de même avec les échantillons de la chaîne "c". Comparez la clarté de 2 échantillons occupant la même position dans chaque chaîne.

Comparer du point de vue de votre sensation de clarté les échantillons gris des figures b, c, d aux échantillons gris de chaque chaîne.

Quelle est la chaîne dont les échantillons présentent une variation régulière de la clarté ?

2°) Mesure

En utilisant le logiciel SpectraQC mesurer pour chaque échantillon de chaque chaîne les paramètres Y et L^* . Imprimer les résultats et les présenter sous forme de tableaux.

Représenter la variation de Y et de L^* en fonction de la référence de chaque échantillon. (Attribuer aux échantillons des points équidistants sur l'axe des abscisses). Reporter les valeurs de Y et de L^* en ordonnées. Tracer les 2 courbes correspondantes à chaque chaîne ; commenter et expliquer ces courbes.

3°) Interprétation des résultats

Confronter les observations visuelles et les mesures.

Quel est des deux paramètres Y et L^* celui qui s'accorde le mieux avec l'observation visuelle, pourquoi ? Quel est le paramètre (Y ou L^*) qui permet d'attribuer à certains gris le qualificatif de moyen ?

Tracer la courbe $L^* = f(Y)$. Cette courbe dépend-elle de la chaîne utilisée ? Quel est l'intérêt de Y ?

III - SEUIL DIFFERENTIEL DE CLARTÉ

A partir d'une série d'échantillons vous déterminerez le seuil différentiel de clarté δL^* et de luminance δY de votre œil. Pour cela, cherchez les 2 échantillons pour lesquels vous percevez une différence de clarté aussi faible que possible et deux échantillons pour lesquels vous ne percevez aucune différence et mesurez les valeurs de L^* et de Y afin d'encadrer δL^* et δY . Réalisez cette expérience pour 3 niveaux de clarté (sombre, moyen, clair). Conclusion ?

On utilisera ces valeurs lors de la rédaction des comptes-rendus des TP suivants pour prévoir à l'issue d'une mesure ce que l'on AURAIT DU VOIR et comparer avec ce que l'ON A VU.

C - ETUDE DE LA TEINTE

I – INTRODUCTION

La teinte est la caractéristique essentielle de la couleur. Dans le langage courant, elle s'exprime par un adjectif qualificatif tel que violet, bleu, rouge, etc... Nous nous proposons d'observer des échantillons dont la teinte varie de l'un à l'autre. Ces observations visuelles seront concrétisées par des mesures au colorimètre afin de nous familiariser avec les systèmes colorimétriques usuels (Y, x, y ; L^*, a^*, b^* ; L^*, C^*, h) et avec la nomenclature de l'atlas de Munsell. On essaiera de dégager un lien entre l'angle de teinte h la longueur d'onde dominante λ_D et de déterminer quel est le paramètre qui traduit le mieux la sensation de teinte.

On confrontera systématiquement les observations visuelles et les mesures.

II – MANIPULATION

1°) Observation visuelle

On dispose d'un certain nombre n d'échantillons de différentes teintes caractérisés par une référence indiquée au dos. En prenant l'échantillon rouge comme origine, essayer de les classer de façon à exprimer la variation de la sensation de teinte sur un cercle dit cercle des teintes. Caractérisez-les par un nombre N correspondant à l'angle que fait leur point représentatif sur le cercle avec celui de l'échantillon rouge pris comme référence ; des intervalles angulaires égaux traduiront des équidistances perceptives de teinte. Préciser l'incertitude absolue ΔN .

2°) Mesure

Utiliser le logiciel SpectraQC.

Mesurer pour chaque échantillon les paramètres caractéristiques de la couleur (Y, x, y) ; (L^*, a^*, b^*) ; (L^*, C^*, h). Déterminer la nomenclature de chaque échantillon dans l'atlas de Munsell. Indiquer l'incertitude absolue sur chaque mesure en précisant les raisons de votre choix. (Consigner l'ensemble des résultats dans un tableau comportant $R, N, Y, x, y, L^*, a^*, b^*, C^*, h, \text{Munsell}$)

3°) Analyse des résultats

a) Clarté

Tracer la courbe $L^* = f(Y)$ et la comparer avec celle obtenue lors du paragraphe précédent. Expliquer ce résultat.

b) Utilisation du diagramme x, y

Reporter les points de couleur des échantillons sur le diagramme x, y et faire figurer la référence au voisinage de chaque point. Commenter la répartition des points sur le diagramme ?

Evaluer pour chaque point la longueur d'onde dominante λ_D ou la longueur d'onde dominante de la complémentaire λ_C pour les pourpres. Evaluer l'incertitude absolue sur λ_D ou λ_C .

c) Utilisation du diagramme a^*, b^*

Reporter les points de couleur des échantillons sur ce diagramme. Comment se répartissent ces points ?

d) Interprétation

Consigner les résultats dans un tableau récapitulatif comportant la référence, N , λ_D (ou λ_C), h .

Tracer les courbes représentatives des grandeurs h et λ_D en fonction de N en matérialisant si possible les incertitudes. Commenter les courbes obtenues.

Entre les paramètres h et λ_D (ou λ_C), quel est celui qui traduit le mieux la variation de la sensation de teinte ; tracer la courbe λ_D en fonction de h . La courbe obtenue dépend-elle de la clarté des échantillons ?

Quel est selon vous l'intérêt de λ_D ?

4°) Seuil différentiel de teinte

Au cours de ce TP et des suivants, vous tenterez de déterminer votre seuil différentiel de teinte $\delta\lambda_D$ et δH^* , comme vous l'avez fait pour la clarté. (Attention : les autres paramètres ne doivent pas varier !)

TP n° 2

ETUDE DE LA SATURATION

I – INTRODUCTION

Comme nous l'avons fait pour la clarté et la teinte, on se propose d'étudier la troisième caractéristique visuelle de la couleur : la saturation. Les couleurs achromatiques sont désaturées ; les couleurs vives ou provenant d'une source de lumière monochromatique sont saturées. On essaiera de dégager un lien entre le chroma C^* et le facteur de pureté d'excitation p_e et de déterminer celui des deux paramètres qui traduit le mieux la sensation de saturation. Nous essaierons ensuite de réaliser une chaîne de 6 échantillons de teinte et de clarté constantes présentant une variation régulière de la saturation.

La réalisation de cette chaîne prend en compte les principes fondamentaux suivants :

- Tout mélange soustractif complexe se traduit par une diminution de la saturation ; on ne peut donc augmenter la saturation d'une couleur.
- Pour diminuer la saturation, on utilisera un gris isophane c'est-à-dire de même clarté que la couleur de base.

II – LA SENSATION DE SATURATION

1°) Observation visuelle

On dispose de deux séries d'échantillons repérés au dos par une lettre suivie du numéro de la série (exemple D1).

Etude de la première série :

- Les échantillons sont-ils de teinte, de clarté, de saturation constante ?
- Classer les échantillons par ordre de sensation décroissante, puis caractériser la sensation relative à chaque échantillon par un nombre compris entre 0 et 50 (attention, les écarts ne sont pas forcément constants !)
- Observez-vous des échantillons en équidistance perceptive de saturation ?

Etude de la deuxième série :

- Les échantillons sont-ils de teinte, de clarté, de saturation constante ?
- Classer les échantillons par ordre de sensation croissante puis caractériser la sensation relative à chaque échantillon par un nombre compris entre 0 et 60 (attention, les écarts ne sont pas forcément constants !)

Comparer ces classements.

- Observez-vous des échantillons en équidistance perceptive de sensation ?

2°) Mesure

Utiliser le logiciel SpectraQC et calibrer le colorimètre.

Mesurer pour chaque échantillon les paramètres caractéristiques de la couleur (Y, x, y) (L^*, a^*, b^*) (L^*, C^*, h) .

En utilisant le diagramme xy , déterminer le facteur de pureté d'excitation p_e et la longueur d'onde dominante λ_D . Evaluer l'incertitude absolue sur chaque mesure en précisant les raisons de votre choix. Consigner l'ensemble des résultats dans un tableau récapitulatif. Tracer les courbes représentant les variations de mesures en fonction des variations des sensations. En règle générale et compte tenu des incertitudes les mesures expérimentales confirment-elles ou infirment-elles vos observations visuelles ?

Tracer pour chaque série la courbe représentative de la fonction $p_e = f(C^*)$ et interpréter les résultats obtenus.

III – REALISATION D'UNE CHAÎNE DE SATURATION

1°) Etude des couleurs de base

Choisir une couleur de base A aussi saturée que possible puisque l'on va devoir procéder à une désaturation de cette couleur pour réaliser la chaîne. Réaliser un échantillon de cette couleur A et mesurer au colorimètre ses caractéristiques colorimétriques $(Y, x, y, L^*, a^*, b^*, C^*, h)$. Déterminer ses paramètres Munsell. Reporter le point de couleur A dans le diagramme (x, y) , en déduire le facteur de pureté d'excitation $p_e(A)$ et la longueur d'onde dominante λ_{DA} .

Réaliser en mélangeant du blanc et du noir un gris G de même clarté que la couleur A, en quantité suffisante pour effectuer les mélanges nécessaires à la confection de la chaîne de désaturation. A la fin de la manip, les points de couleur devront être équidistants dans le diagramme $L^*a^*b^*$. Assurer vous donc que la teinte de ce gris est la même que celle de A (au besoin, rajouter une goutte de A).

A chaque essai mesurer la clarté jusqu'à ce que $L^*_G = L^*_A$ avec la précision souhaitée.

Le gris définitif obtenu, mesurer ses caractéristiques $(Y, x, y, L^*, a^*, b^*, C^*, h)$. Reporter le point de couleur G dans le diagramme (x, y) et vérifier que son facteur de pureté d'excitation $p_e(G)$ est voisin de zéro. La valeur du chroma C^* de ce gris est-elle acceptable ?

2°) Chaîne de désaturation

Pour obtenir une diminution régulière de la sensation visuelle de saturation, on utilisera le chroma C^* . Outre les échantillons de base A et G, la chaîne comportera 4 couleurs intermédiaires notées M_i ($i=1...4$).

a) Calculs

Calculer la variation du chroma C^* souhaitée entre 2 échantillons consécutifs

$$V = C_i^* - C_{i+1}^* = (C_A^* - C_G^*)/5$$

Puis calculer les valeurs théoriques C_i^* souhaitées. Entrez ces valeurs dans le tableau ci-dessous. Estimer la tolérance dC^* visée à priori pour chaque échantillon.

	C_i^*	$dC^*(tol)$	C_{i^*r}	$ C_{i^*r} - C_i^* $	$(C_{i+1}^* - C_{i^*r})$	p_{ei}	$(p_{ei+1r} - p_{eir})$
A							
M ₁							
M ₂							
M ₃							
M ₄							
G							

b) Réalisation

Réaliser un premier échantillon en mélangeant A et G jusqu'à obtenir le premier élément M₁ de la chaîne. A chaque essai, mesurer au colorimètre les caractéristiques ($Y, x, y, L^*, a^*, b^*, C^*, h$) de la couleur obtenue, puis vérifier l'acceptabilité de votre réalisation en comparant l'écart standard-contretype ($C_{i^*r} - C_i^*$) et la tolérance dC_i^* .

Pour les échantillons, reporter C_{i^*r} dans le tableau récapitulatif. Placer le point de couleur M_j dans les diagrammes (x,y) et (a*,b*). En déduire le facteur de pureté d'excitation $p_e(i)$.

Calculer les variations obtenues dans la chaîne ($C_{i+1}^* - C_{i^*r}$) et ($p_{ei+1r} - p_{eir}$). Reporter ces valeurs dans le tableau récapitulatif.

Disposer les échantillons définitifs pour obtenir une chaîne de désaturation.

c) Interprétation

Déterminer la longueur d'onde dominante λ_D de chaque échantillon ; estimer les incertitudes dh et $d\lambda_D$. Consigner toutes les caractéristiques des éléments de la chaîne dans un tableau sur le modèle suivant :

	L^*	a^*	b^*	Y	x	y	C^*	h	p_e	λ_D
A										
M ₁										
M ₂										
M ₃										
M ₄										
G										

La chaîne réalisée est-elle de clarté et de teinte constante?

Tracer la courbe représentative de la variation du facteur de pureté d'excitation p_e en fonction du chroma C^* . Quel est du facteur de pureté d'excitation p_e ou du chroma C^* le paramètre qui traduit le mieux la sensation du saturation ?

III – REALISATION D'UNE PLANCHE MUNSELL.

Le but de l'opération est de réaliser une page d'atlas de Munsell. Le principe est le même que ce que vous venez de faire, avec moins d'exigence sur la précision. A partir de la couleur A, très saturée, on réalise par mélange avec du blanc ou du noir, des

échantillons de clarté variable (L^* variant de 10 en 10), et de saturation plus faible. Ensuite on désature ces échantillons par pas constant (C^* variant de 10 en 10) en gardant L^* constant. Chaque trinôme réalise au moins une chaîne.

A l'aide de la planche ainsi obtenue, on déterminera la chroma C^* d'un échantillon coloré Z. Comparer visuellement l'échantillon Z aux différents éléments de la page réalisée, et proposer une valeur pour L^*_Z et C^*_Z ainsi que les incertitudes dL^*_Z et dC^*_Z associées à cette estimation.

Comparez cette estimation à la valeur mesurée au colorimètre.

IV)- SEUIL DIFFERENTIEL DE SATURATION

Utiliser les divers essais de ce TP pour trouver la différence de saturation la plus faible que vous détectez. Proposer une valeur du seuil différentiel de saturation δC^* . (Attention : les autres paramètres, teinte et clarté, ne doivent pas varier !)

CONTRETYPEPAGE**I – INTRODUCTION**

Le but de cette manipulation est de réaliser d'une façon méthodique le contretypage d'une couleur de référence à partir de couleurs de bases judicieusement choisies.

Rappelons qu'en général tout mélange soustractif entraîne une baisse de la saturation et de la clarté ainsi qu'un léger changement de teinte. L'aspect tridimensionnel de la couleur nécessite une approche systématique en réglant successivement chacun des trois paramètres (teinte, clarté, saturation) afin de garder la maîtrise de l'évolution de la couleur réalisée. Vous contrôlerez cette évolution avec un spectrocolorimètre, et vous la matérialiserez par le point de couleur de chaque échantillon réalisé dans l'espace colorimétrique choisi.

L'utilisation du spectrocolorimètre va vous permettre de suivre l'évolution du facteur de réflexion spectral $R(\lambda)$ du contretypage par rapport à la couleur de référence, de juger de la qualité de la réalisation et de prendre conscience du possible phénomène de métamérie.

Enfin vous profiterez des nombreux essais effectués pour réactualiser les seuils différentiels de votre œil relatifs à la clarté, la teinte et la saturation.

II - MESURE DU STANDARD

Le "standard" est la couleur de référence S, que l'on souhaite contretyper. Pour mesurer le facteur de réflexion spectral des échantillons, on utilisera un spectrocolorimètre MINOLTA CM1000 ou DATACOLOR ACS CS5, associé au logiciel Isomatch-SPC. Ouvrir le logiciel Isomatch, choisir le module « contrôle qualité ». Effectuez la calibration du spectrocolorimètre puis mesurez le facteur de réflexion spectral du standard S, des couleurs de base B_1 et B_2 , des mélanges intermédiaire M_1 et M_2 puis du contretypage final C (voir énoncé TP4 pour plus de détails).

Compte tenu de votre expérience acquise lors des travaux pratiques précédents sur vos capacités à réaliser une clarté, une teinte et une saturation, déterminer la tolérance δE^* , différence entre le standard et le contretypage que vous pensez pouvoir atteindre en pratique.

Compte tenu des seuils différentiels de votre œil, obtenu dans les travaux pratiques antérieurs, calculez votre seul différentiel global que vous nommerez δE^* . Attention : δE^* est l'écart minimum perceptible $\sim \min(\delta L^*, \delta C^*, \delta H^*)$.

Vous comparerez la capacité de l'œil à distinguer 2 couleurs (donnée par δE^*) à celles du peintre à les reproduire (donnée par dE^*).

III - REALISATION DU CONTRETYPE

1°) Etude des couleurs de base B₁ et B₂

Compte tenu de la couleur S à contretyper choisissez deux couleurs de base B₁ et B₂ plus saturées que le standard S.

- Réalisez les échantillons B₁ et B₂. Si la clarté de ces échantillons est très inférieure à celle du standard (cas de bleu et des verts), éclaircir ces teintes de base par mélange avec du blanc. Cela augmente également la saturation, et rend la suite des opérations beaucoup plus simple.

- Mesurez au colorimètre les caractéristiques trichromatiques de B₁ et de B₂.

- Placez les points de couleurs S, B₁, B₂ dans les diagrammes (xy) et (a*, b*) et vérifiez que le point S se trouve dans le triangle CB₁B₂, (C point de couleur de l'illuminant C utilisé ici). Dans le cas contraire, choisir de nouvelles couleurs de base.

2°) Réglage de la teinte

Afin de tenir compte de la variation de l'angle de teinte lors des réglages ultérieurs, on va mélanger les couleurs de base B₁ et B₂ jusqu'à ce que ce mélange M₁ ait un angle de teinte voisin de celui du standard.

Mélangez les couleurs de base B₁ et B₂. A chaque essai, contrôlez l'évolution des composantes trichromatiques dans les différents systèmes colorimétriques. Placez les points de couleur dans les diagrammes xy, a*b*, et contrôlez l'évolution des différents paramètres (clarté, teinte, saturation). Il faut en particulier garder une saturation (très) supérieure à celle du standard.

3°) Réglage de la clarté

Comparez les clartés L^*_S et L^*_I du standard et du mélange M₁, et ajustez la clarté en ajoutant du blanc ou du noir à M₁. On conservera une clarté finale L^*_2 du mélange M₂ légèrement supérieure à L^*_S car lors du réglage suivant, la clarté peut diminuer légèrement.

Mélangez la couleur M₁ et le noir ou blanc. A chaque essai, contrôlez l'évolution des composantes trichromatiques dans les différents systèmes colorimétriques. Placez les points de couleur dans les diagrammes xy, a*b*, et contrôlez l'évolution des différents paramètres (clarté, teinte, saturation).

4°) Réglage de la saturation

Cette étape doit être réalisée en contrôlant soigneusement les paramètres de clarté et teinte, car vous ne pourrez plus les modifier lorsque la bonne saturation sera atteinte.

Réalisez dans un godet à part un gris de même clarté que le standard, par un mélange blanc-noir. Comparez les saturations C^*_S et C^*_2 du standard et du mélange M_2 .

Mélangez ce gris au mélange M_2 pour atteindre la saturation du standard S et obtenir ainsi le contretype C . (Attention à ne pas dépasser la valeur souhaitée car on ne peut pas augmenter la saturation).

A chaque essai contrôlez l'évolution des composantes trichromatiques dans les systèmes colorimétriques, placez les points de couleur dans les diagrammes xy , a^*b^* et observez sur le graphique du logiciel cette évolution. Utilisez la boîte à lumière et ses deux sources pour dire si les différences de couleur sont perceptibles à l'œil ? Etes-vous satisfait de votre réalisation ?

5°) Métamérie

Dans le compte rendu, vous observerez et commenterez l'évolution du facteur de réflexion spectral au fur et à mesure des réglages des paramètres, et vous comparerez les R du standard et du contretype.

Relevez les différences de couleur données par l'ordinateur entre le standard et le contretype suivant l'illuminant choisi et comparez avec vos observations. Calculez l'indice de métamérie dans les systèmes xy et a^*b^* . Votre standard et votre contretype sont-ils métamères ou isomères ?

TP n° 4**LOI DE BEER LAMBERT - FORMULATION D'UN COLORANT****A – RAPPELS THEORIQUES**

Les mélanges de colorant absorbants non diffusants constituent des mélanges soustractifs simples régis par la loi de Beer-Lambert.

Le facteur de transmission $T(\lambda)$ d'un objet absorbant est lié au coefficient d'absorption spectral $K(\lambda)$ par la relation de Beer-Lambert :

$$K(\lambda) = -Ln(T(\lambda)) / h$$

où h désigne l'épaisseur de la cuve traversée, prise ici égale à 1 par choix d'unités.

Lorsque la couleur d'un objet résulte d'un mélange de n colorants on admet que les coefficients d'absorption spectraux K_m du mélange sont les moyennes pondérées des K_i par les concentrations C_i des composants du mélange, et on écrit :

$$K_m(\lambda) = \sum_{i=1}^n C_i K_i(\lambda)$$

Ainsi le facteur de transmission du mélange s'exprime en fonction du coefficient d'absorption spectral des différents constituants par la relation

$$T(\lambda) = \exp(-h \sum_{i=1}^n C_i K_i(\lambda))$$

B – PRINCIPE GENERAL DU TP « BEER LAMBERT »

Pour faire de la formulation il est donc nécessaire :

- de caractériser parfaitement le standard en mesurant avec un spectrophotomètre le facteur de transmission spectral $T(\lambda)$ dans tout le domaine visible.
- de constituer une banque de données comportant pour tous les colorants disponibles les valeurs du coefficient d'absorption spectral $K(\lambda)$ dans le domaine visible.
- de disposer d'un logiciel de formulation permettant de déterminer la concentration C_i de chaque colorant utilisé pour contretyper le standard. Les calculs mathématiques sont en général complexes car l'égalité fondamentale doit être satisfaite pour toutes les longueurs d'onde du domaine visible (16 ou 31 suivant la précision souhaitée).
- de réaliser le contretypage selon les concentrations de colorants proposées par la recette, de la comparer au standard et de décider de son acceptabilité.

- en cas de refus, il faut mettre en œuvre une procédure de correction des concentrations calculées afin d'aboutir à un contretype acceptable ou procéder à un nouveau calibrage des pigments.

C – UTILISATION DU LOGICIEL ISOMATCH-SPC

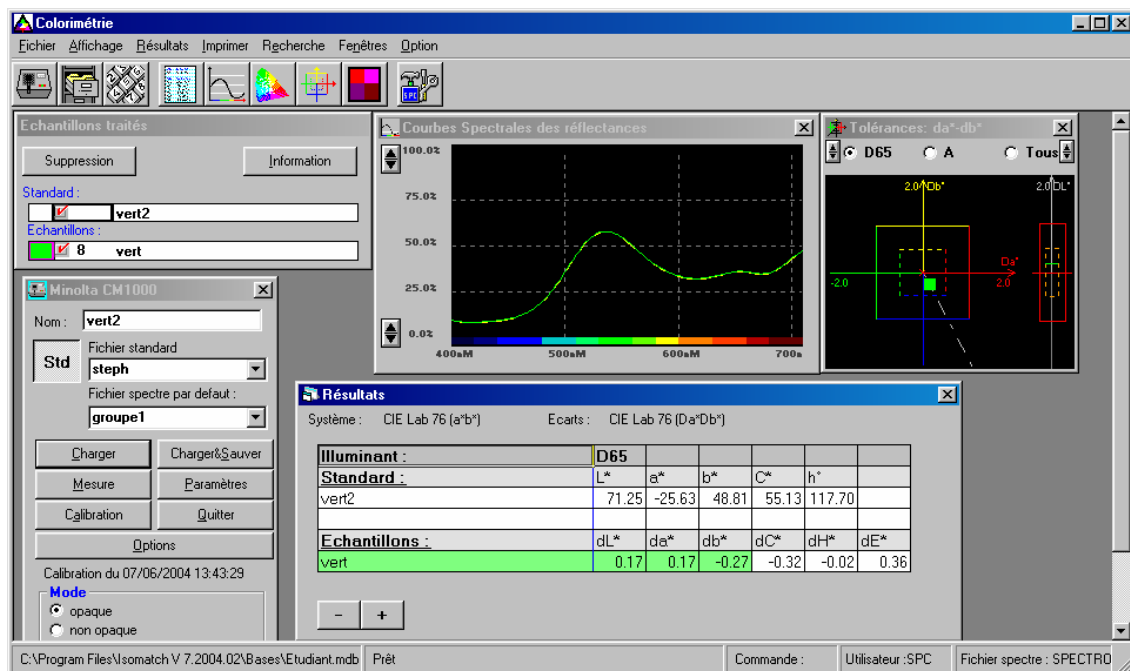
1°) Démarrage et calibration du spectro-colorimètre DataColor ACS CS5 :

La calibration s'effectue à partir du logiciel, voir ci-dessous. *Il est impératif d'allumer l'appareil ½ heure pour que la lampe soit chaude avant de commencer à calibrer et mesurer.*

2°) Démarrage du logiciel « Isomatch ».

Démarrer le logiciel en (double)clicquant son icône. Dans la fenêtre qui apparaît, choisissez le module « contrôle-qualité ».

Les menus du module contrôle-qualité se présentent comme ci-dessous :



- Vérifiez que vous utilisez la base de donnée « Etudiants.mdb » (indiqué dans la barre d'état), et sinon choisissez cette base (menu *fichier/choix de base*).
- Vérifier que l'interface choisie correspond bien à votre spectre, ainsi que vos choix d'observateur et d'illuminant (2°, C, par exemple) à l'aide du menu « *affichage/paramètres* », ou du bouton « *boite à outils* » à droite.

3 °) Mesures en transmission

La mesure en transmission des colorants contenus dans les cuves à face parallèles est réalisable sur les ACS CS5 seulement. Pour cela,

- retirer la plaque coté porte échantillon pour travailler en ouverture large.
- placer la référence de calibration blanche sur le support extérieur.
- Placer le porte-cuve dans l'appareil, juste devant l'optique du détecteur (mesure en transmission directe).
- Choisir l'optique LAV (large ouverture, objectif le plus court).
- Pour réaliser une première mesure, cliquer sur le premier bouton, à gauche, représentant un spectromètre, ou bien utilisez le menu *fichier/spectro*. vérifier alors dans la rubrique *paramètres* que vous êtes bien *transmission* et *grande ouverture*. Ne changez pas les autres paramètres. A ce stade, une demande de calibration apparaît.
- Calibrer : la mesure du 0% se fait en plaçant une feuille noire opaque devant le porte-cuve dans l'appareil ; la mesure du 100% se fait en plaçant une cuve pleine d'eau sur le porte échantillon.
- Comme vérification, si vous mesurez le facteur de transmission d'une cuve pleine d'eau, vous devez trouver 100%, en début et en fin de TP. En principe toutes les valeurs que vous mesurez doivent alors se trouver entre 0 et 100% .

Vous êtes maintenant prêts à mesurer.

3°) Mesures.

Choisissez l'option « mesure » de la boîte mesure. Placez la cuve devant l'optique et mesurez. Donner alors un nom à votre échantillon et sauvez-le en « *standard* » ou en « *échantillon* » suivant qu'il s'agit de votre référence ou d'une simple mesure. Sauvegardez vos résultats dans un fichier « *standard* » ou un fichier « *spectres* » **au nom de votre trinôme**, et que vous conserverez pour ce semestre. Ce nom de fichier comportera

- votre filière : Lpro ou Mpro 1 ou 2
- votre numéro de groupe de TP 1 ou 2
- votre nom de trinôme codé par les deux premières lettres de vos noms.

Enfin utiliser l'option « *charger et sauver* » pour afficher et enregistrer vos résultats. A ce stade, et si tout va bien, une courbe spectrale apparaît.

Réalisez quelques mesures afin de vous familiariser avec le logiciel. Vous pouvez alors faire apparaître dans la fenêtre

- un diagramme chromatique La^*b^* ,

- les résultats colorimétriques sous forme de tableau. Vous pouvez choisir votre système colorimétrique (La*b*, LC*h ...) ainsi que différents illuminants, à l'aide du bouton « *boite à outils* » (ou du menu « *affichage/paramètres* »).
- les valeurs des coefficients de réflexion des différents échantillons, pour chaque longueur d'onde (menu « *résultats/valeurs/réfectances* »).
- un échantillon numérique de la couleur,

tout cela en cliquant sur les différents boutons. Testez tout ce que vous pouvez. En cas de problème, ne frappez pas l'ordinateur, mais consultez l'enseignant (ne le frappez pas non plus !).

4°) Gestion de vos données.

Au moyen du menu « *fichier/standard/chargement* » ou du deuxième bouton (« *tiroir* »), vous pouvez accéder à vos fichiers de standards et spectres. Vous pouvez alors

- charger des courbes pour affichage à l'écran.
- effacer des enregistrements (attention, ils sont vraiment effacés!).
- changer de fichier utilisateur (à priori inutile).

Dans la boîte « *échantillons traites* » vous pouvez choisir et changer votre standard (par *drag & drop*), choisir les courbes que vous souhaitez afficher, en « effaçant » éventuellement les courbes que vous ne voulez pas voir (celles-ci resteront enregistrées dans un fichier « spectres » si vous les avez sauvées au moment de la mesure).

5°) Impression de vos résultats.

Imprimez vos résultats au moyen du menu « *imprimer/impression PV simple* » pour avoir les résultats colorimétriques dans le système que vous utilisez, ou « *imprimer/impression PV complet* » pour imprimer les facteurs de réflectance. Une impression couleur utilisant Word2000 est possible, avec « *imprimer/impression couleur* ». Choisir le type de fichier modèle « *QcComplet.Dot* » (ne lancez pas 50 impressions à la fois svp !).

E – FORMULATION AVEC « ISOMATCH »

Le logiciel Isomatch-SPC est conçu pour formuler et contretyper un standard. Il nécessite pour cela les opérations suivantes :

- Définition du fichier « matières » dans le module « gestion de la base de données »: le problème de la formulation *professionnelle* consiste à déterminer une formule optimale non seulement du point de vue de la couleur, mais aussi

du coût de revient et des quantités utilisées (gestion des stocks). Cet aspect n'est pas essentiel à l'université, où nous disposons d'un petit stock de pigments, en principe gratuits, et en quantité illimitée. Il nous faut cependant définir les différents produits utilisés ici : *l'eau* (diffusant incolore), *la grenadine* (colorant rouge), *la menthe* (colorant vert). Dans cette partie, la colorimétrie n'intervient pas.

- Détermination des K des différents absorbants (module « K/S »). On doit en particulier vérifier que la loi de Beer-Lambert, qui prévoit que le coefficient K est proportionnel à la concentration C de l'absorbant, est bien vérifiée.
- Cette phase de calibrage des absorbants étant réalisée, on peut procéder à l'étape de formulation (module « *formulation* »). On mesure le coefficient de transmission d'un standard, et on calcule la ou les formules qui reproduisent au mieux ce standard (optimum en termes de colorimétrie et de coûts). Il ne reste plus qu'à réaliser ce mélange, et vérifier que la théorie correspond bien à la pratique !

Nous allons par la suite présenter ces différentes étapes en détail. Auparavant une dernière remarque :

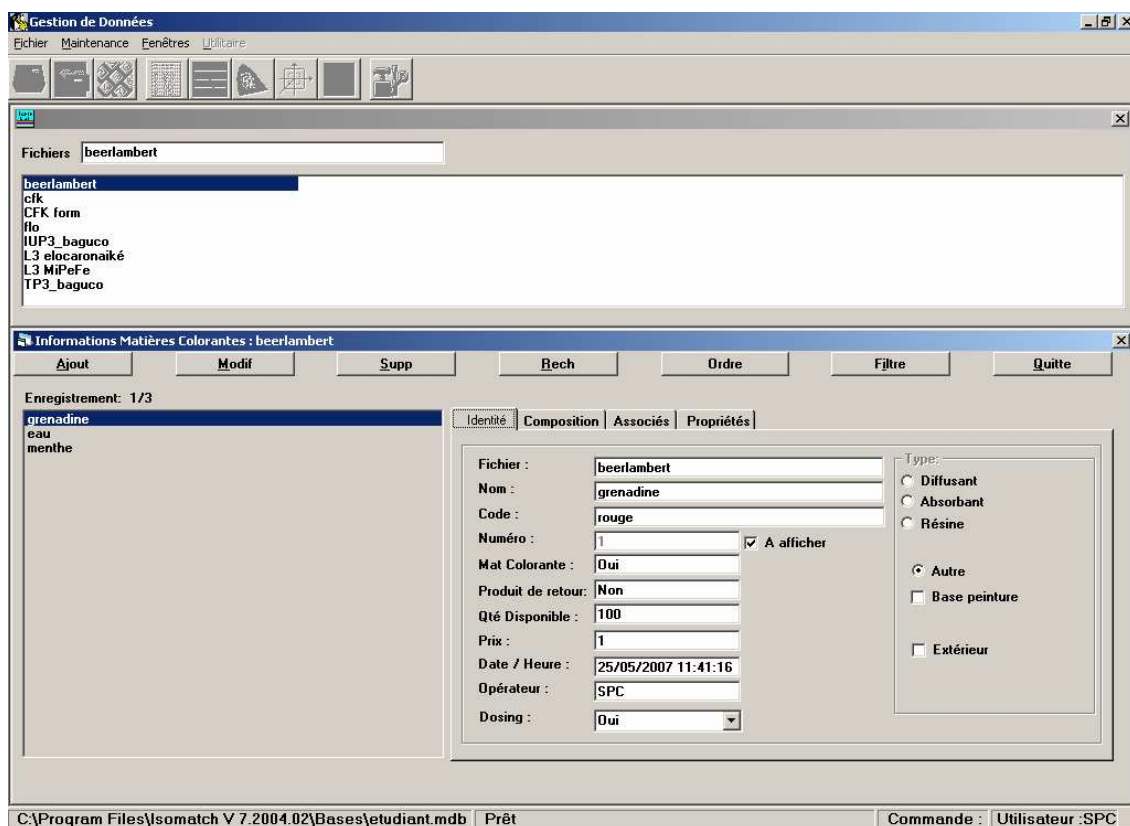
nomenclature : vos enregistrements de spectres, afin d'être facilement identifiables, doivent se trouver dans un fichier *au nom de votre trinôme*. En outre ils doivent être nommés de la façon suivante :

- Nom de la matière colorante exemple : vert
- Pourcentage de la matière colorante, par exemple 20%
- Ce qui donne ici vert 20% ...

Enfin les standards et les contretypes seront nommés d'après les couleurs qui les constituent : exemple « *vert 20 rouge 10* » est un standard réalisé à partir de *vert* et de *rouge*. « *vert 20 rouge 10 C* » est son contretype.

F – DEFINITION DES « MATIERES »

Ouvrez le module de « *gestion de base de données* ». Assurez-vous que vous êtes dans la base « *étudiants.mdb* ». Choisissez le menu « *maintenance/matières* ». Vous obtenez la fenêtre qui suit :



En haut apparaît une fenêtre « *Fichiers* » contenant les différents fichiers « *matières* » existants. Vous allez créer le votre, contenant des renseignements sur vos différents pigments. Pour cela, il faut remplir les cases de la fenêtre du bas :

- Cliquer sur l'onglet « *ajout* »
- Donnez à votre fichier matières le nom que vous utilisez pour votre trinôme. Par exemple « *vous_nom_de_trinôme_beerlambert* ». Si le fichier n'existe pas, une confirmation vous est demandée.
- Donnez un nom et un code identiques (pour simplifier) à la première matière : c'est de « *l'eau* ».
- Indiquez pour l'eau, qu'il s'agit du « *diffusant* » en cochant la case correspondante.
- Les autres champs concernent la gestion des stocks, et n'ont pas besoin d'être remplis. Cliquer alors dans la case « *opérateur* » (vous pouvez indiquer votre nom, si vous le souhaitez, ou laisser SPC), puis sur « *mise à jour* ». La matière « *eau* » doit apparaître dans la liste de gauche.

Définir de la même façon la matière « *menthe* », en indiquant cette fois qu'il s'agit d'un colorant « *autre* ». Procéder ensuite de même pour chacun de vos absorbants « *grenadine* » ... en cochant la case « *autre* ». A l'issue de cette procédure, vos matières sont définies. Vous pourrez éventuellement compléter ou modifier ce fichier par la suite, à l'aide des options « *ajout* » et « *modif* ».

G – CARACTERISATION DES COLORANTS

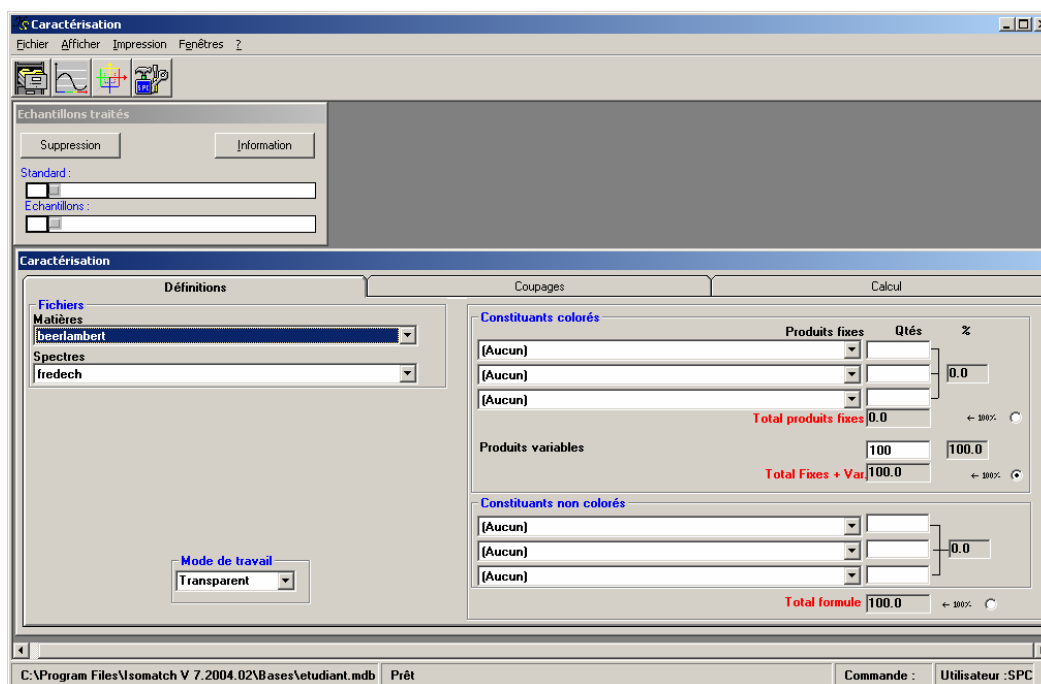
La caractérisation d'un colorant se fait en traçant sa densité optique en fonction de sa concentration. Comme nous l'avons vu en cours, la pente de cette droite donne le coefficient d'absorption $K_i(\lambda)$ associé. On réalisera donc des mélanges de masse totale 20 g et de pourcentage massique 10%, 5%, 2%, 1% et 0.5%. Il est conseillé de calculer calmement ses proportions, de peser soigneusement et de conserver autant que possible ces mélanges en béchers au cours du TP. Travaillez proprement.

Il est possible que les concentrations extrêmes donnent des résultats aberrants ; consultez l'enseignant en cas de doute.

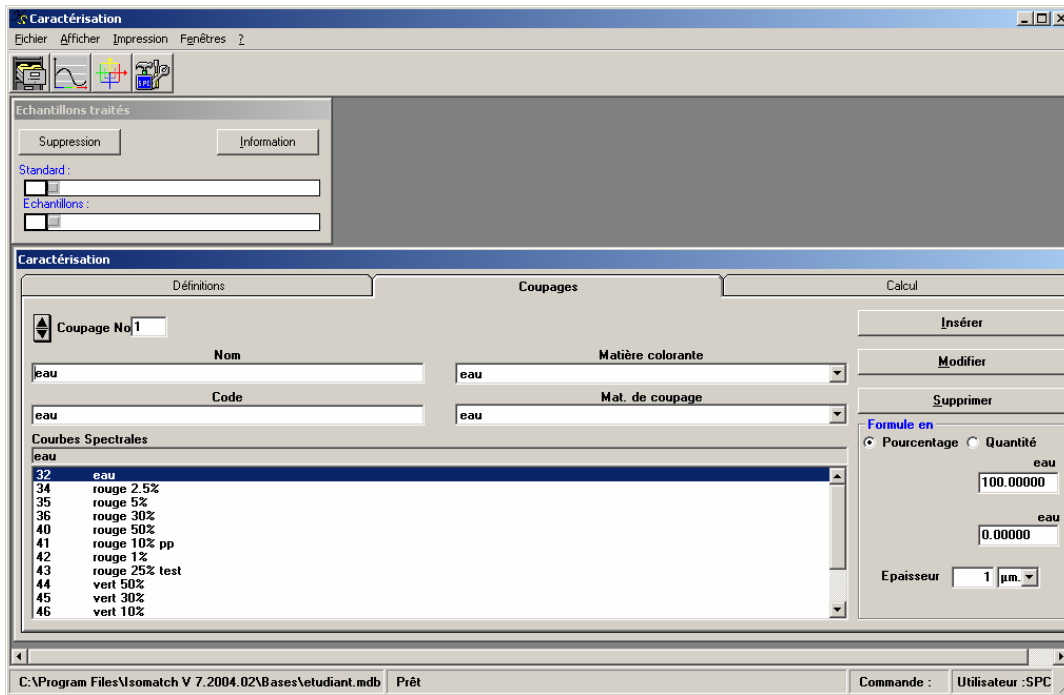
I - Caractérisation de l'eau

Dans notre façon de procéder, l'eau est considérée comme non absorbante, et on doit trouver une valeur de K nulle.

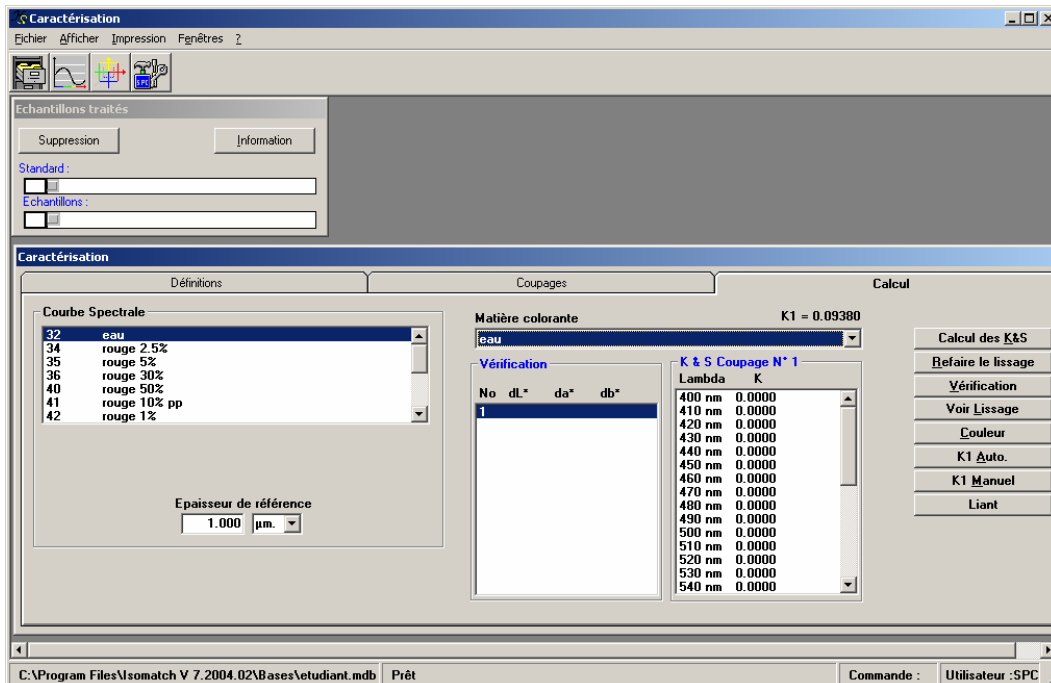
Pour calibrer l'eau, placez une cuve remplie d'eau sur le porte-cuve, puis mesurez et enregistrez son spectre dans le module « *contrôle-qualité* » d'Isomatch. Ouvrir alors le module « *caractérisation – K/S* ». Celui-ci se présente comme suit :



Dans les deux rubriques « *fichiers* » indiquez vos noms de fichiers « *matières* » et « *spectres* ». Dans la rubrique « *mode de travail* », choisissez « *transparent* », puis passez au menu « *coupage* » (voir fenêtre ci-dessous).



Dans ce nouveau menu, choisissez la « *matière colorante* », ici l'*eau*, puis sélectionnez le spectre correspondant, que vous venez de mesurer par double click dans la liste des spectres (dans l'exemple, *eau*), puis passez au menu « *calcul* » des K&S présenté ci-dessous :



Indiquez la matière colorante, ici l'« *eau* », choisissez la courbe spectrale correspondante, puis cliquez sur « *calcul des K&S* ». Les valeurs du coefficient d'absorption spectral $K_W(\lambda)$ s'affichent et doivent valoir 0 (le vérifier).

L'*eau* est ainsi calibrée.

II - Caractérisation de la grenadine

Cet exemple de calcul illustre le principe permettant d'obtenir les coefficients K de tous les colorants. Après avoir réalisé les mélanges aux différentes concentrations, dits aussi « coupages », mesurez ceux-ci dans le module « contrôle-qualité » d'Isomatch, enregistrez les courbes spectrales, puis ouvrez le module « K/S » menu « coupages ». Indiquez la matière colorante : « grenadine », la matière de coupage « eau ». Sélectionnez un spectre et indiquez les proportions de ce premier coupage : par exemple 50% de grenadine. Insérez ce premier coupage (en cliquant sur le bouton « insérer »), puis procédez de même avec les coupages suivants. Allez ensuite dans le menu « calculs », choisissez la matière colorante (« grenadine ») et la matière de coupage (« eau ») puis demandez le « calcul des $K&S$ ». Affichez les valeurs de K en fonction de la concentration au moyen du bouton « voir lissage », et faire défiler les longueurs d'ondes.

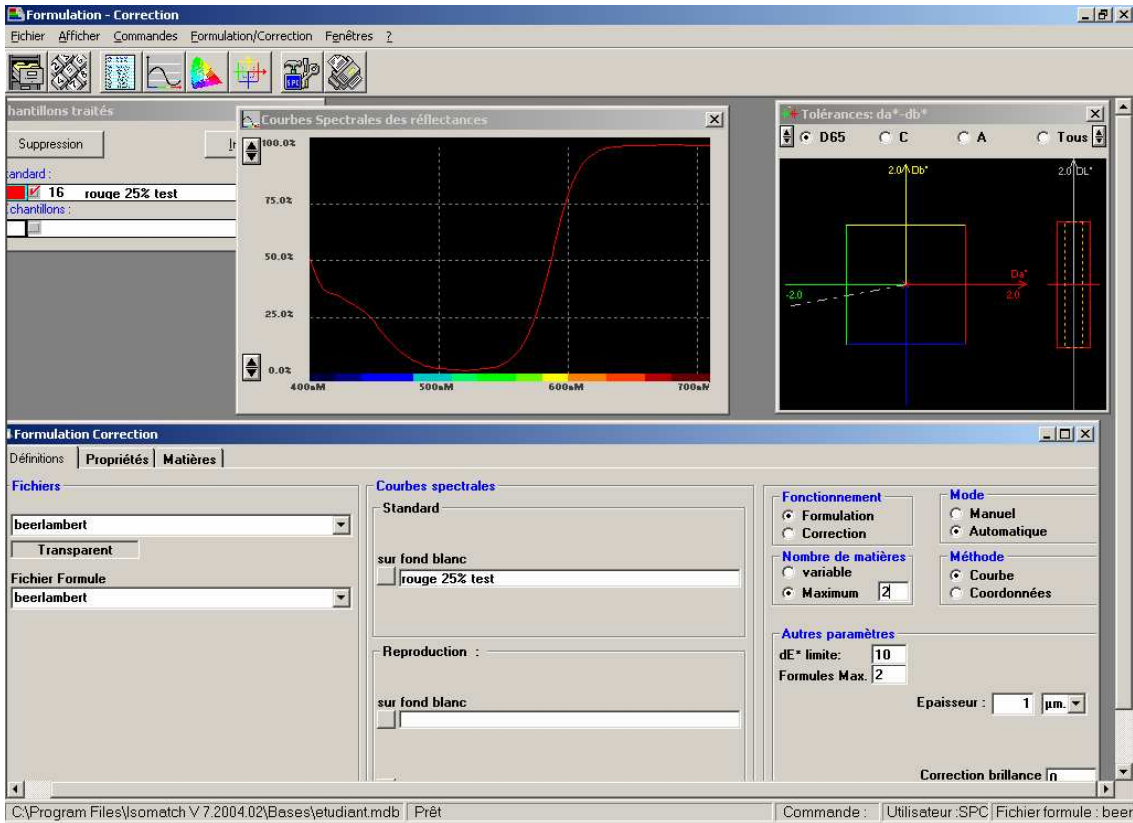
Remarque : en cas d'erreur, utiliser le bouton « supprimer » pour éliminer des coupages inutiles.

Calibrez de même la « menthe », puis le « citron ».

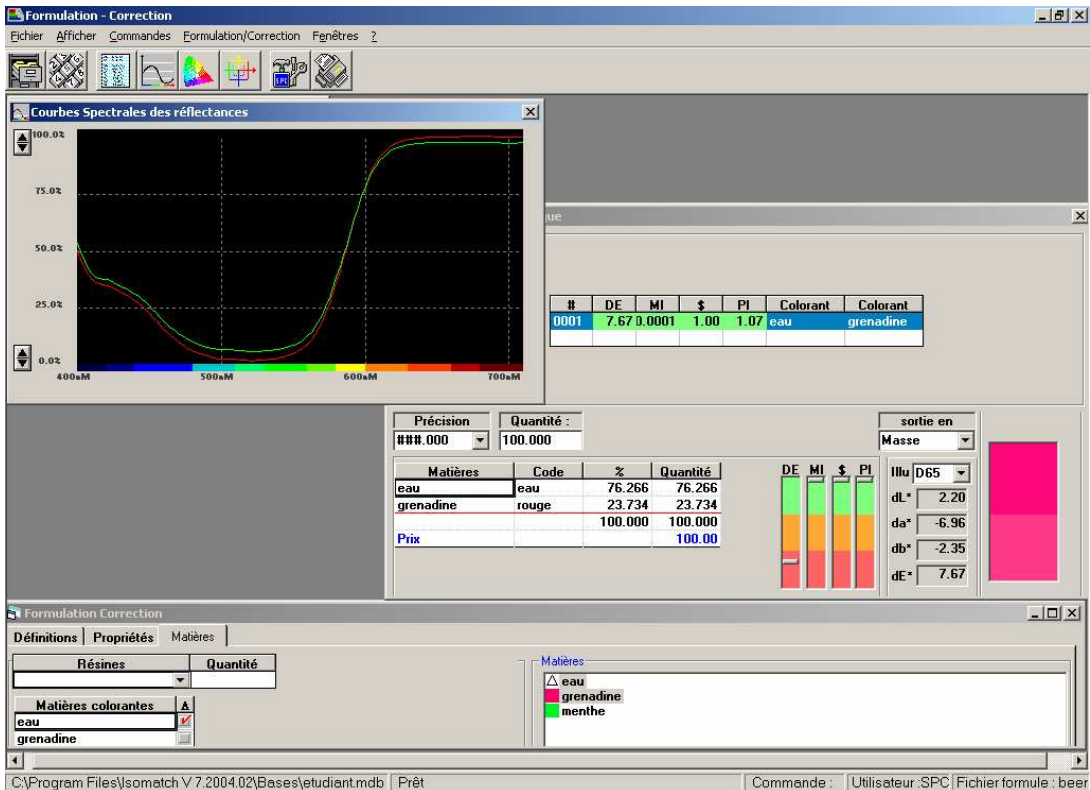
III Contretypage d'un rouge

On se propose alors de contretyper un mélange arbitraire de grenadine et d'eau, c'est-à-dire de déterminer sa formule. On réalisera ensuite ce contretypage à partir de la formule proposée par le logiciel. On comparera standard et contretypage et l'on jugera de son acceptabilité compte tenu du seuil différentiel de l'œil.

Pour obtenir une formule, mesurez l'échantillon que vous souhaitez contretyper puis sauvez son spectre en « standard ». Ouvrez le module « formulation-correction » d'Isomatch qui se présente comme ci-dessous : renseignez votre nom de fichier « matières », un nom de fichier « formules » (utilisez toujours votre nom de trinôme), puis indiquez la courbe spectrale du standard (vous pouvez également réaliser la mesure par l'option « spectro »).



Cochez le fonctionnement «*formulation*», le mode «*automatique*», le nombre de matières maximum (ici 2 suffisent : eau et grenadine), méthode «*coordonnées*», l'écart maximum autorisé dE^* , et aller dans le menu «*matières*» (cf. ci-dessous).



Choisissez les matières à utiliser dans la liste de gauche, (avec CTRL+MAJ+select), vérifiez que le diffuseur (l'eau) est seule cochée, puis cliquez sur «*formulation*». Après calcul, une fenêtre apparaît, qui vous propose une liste de formules, classées par

- ordre d'écart colorimétrique «*DE*» (calculé dans le système $L^*a^*b^*$).
- Indice de métamérie *MI*
- Coût «*\$*» (inutile ici)
- Global «*PI*» (inutile ici)

Pour chaque formule, vous obtenez dans le cadre en dessous les pourcentages de pigments à utiliser pour réaliser le contretypage, les écarts colorimétriques attendus en théorie, ainsi qu'un aperçu coloré du standard et du contretypage. Les différences entre le standard et la formule proposée sont également visibles sous forme de courbes spectrales ou de croix $L^*a^*b^*$. Vous pouvez imprimer la ou les formules au moyen du bouton «*envoyez vers / imprimez cette formule*». Vous pouvez également sauver ces formules de façon informatique au moyen du bouton «*envoyez vers / Tampon*», ou bien «*envoyez vers / Excel*»

Réaliser le contretypage suivant la formule proposée. Le mesurer et comparer contretypage et standard. ... La différence entre les facteurs de réflexion spectraux du standard et du contretypage s'affiche ainsi que les différences colorimétriques pour les illuminants sélectionnés.

Dans le cas où la formulation automatique ne s'effectue pas (*pas de solution*) vous pouvez :

- augmenter l'écart limite autorisé dE^*
- Passer en formulation manuelle et essayer de vous rapprocher visuellement de la courbe spectrale (très instructif, même si l'autre méthode fonctionne).

Procédez de même pour un mélange de *menthe* et d'*eau* de concentration quelconque.

H - FORMULATION ET CONTRETYPEPAGE

Il s'agit maintenant de formuler et de contretyper un mélange quelconque d'*eau*, de *menthe* et de *grenadine* (beurk), et de voir si vous pouvez en retrouver les concentrations. Attention, le mélange que vous allez contretyper n'a pas forcément été réalisé avec les mêmes colorants (par exemple si la marque est différente). On peut donc s'attendre à de la métamérie.

I - CONSEILS DE RÉDACTION DU RAPPORT

Votre compte-rendu final pourra notamment comporter

- un plan général
- une introduction
- un rappel théorique de la loi de Beer-Lambert et de son rôle ici.
- une description du matériel spectroscopique et des procédures utilisées, ainsi que le rôle joué par le logiciel. (On donnera un exemple des calculs effectués dans un cas simple par le logiciel).
- une description des courbes $T(\lambda)$ et de leur évolution avec la composition.
- une description de l'évolution des paramètres colorimétriques (teinte, clarté saturation) avec la composition.
- un tableau récapitulatif des échantillons et des différences de couleur dE^* entre le standard et le contretypé.
- une étude critique du TP effectué et des problèmes rencontrés.
- une conclusion.