

## COULEURS : DSE, REPRÉSENTATION CIE, MODÈLES DE COULEUR

### Description des activités

---

#### Présentation

**Objectif** : préparation du QCM sur la couleur (semaine 4)

**Acquisitions visées** : modèles de couleurs perceptuels (Lch), manipulation de DSE

#### 1 Modèles de couleur perceptuels

La figure de la page 2 montre plusieurs hypothèses de décomposition d'une image couleur RGB dans le système de couleurs Lch. Les trois lignes d'images monochromes correspondent à trois propositions pour respectivement le canal L, le canal c et le canal h.

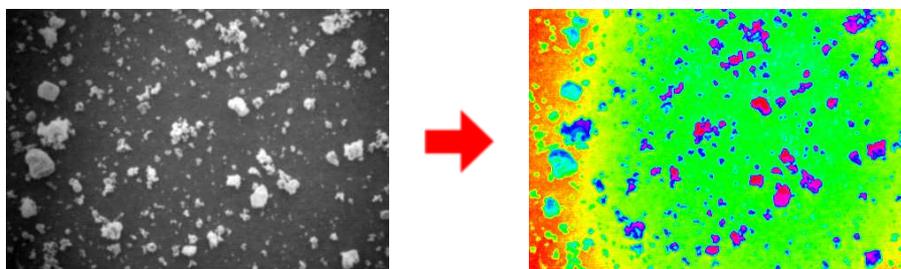
Activité 1 *Proposer une décomposition Lch de l'image couleur en choisissant*

- pour la composante L la bonne image  $L_i$  de la première ligne du tableau,
- pour la composante c la bonne image  $C_i$  de la seconde ligne du tableau,
- pour la composante h la bonne image  $H_i$ ) de la troisième ligne du tableau.

*Réponse sur [www.wooclap.com/AAA02](http://www.wooclap.com/AAA02)*

Activité 2 *Utiliser Gimp pour manipuler les canaux d'une image dans un modèle perceptuel.*

1. Vérifier la réponse de la question précédente en recombinaison des bons canaux L, C et H.
2. En utilisant le modèle HSV, afficher une image en fausses couleurs de l'image monochrome contenue dans le fichier `vue-micro.png`. Les canaux H, S et V e l'image en fausses couleur sont  $(I, W, W)$  où  $I$  est le canal en niveaux de gris de l'image monochrome et  $W$  est une image uniformément blanche.



Les images sont téléchargeables depuis l'activité 2 sur Moodle et des indications pour utiliser Gimp figurent sur le document PDF `ACT02-indic-gimp.pdf`



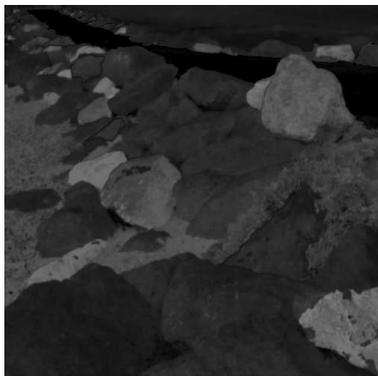
L1



L2



L3



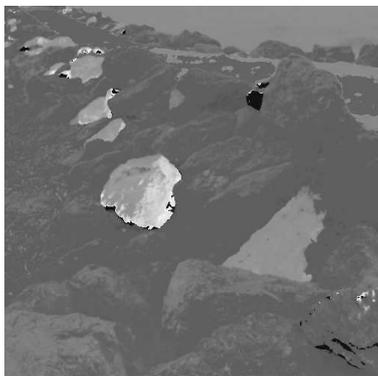
C1



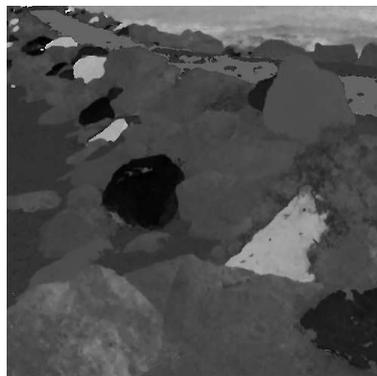
C2



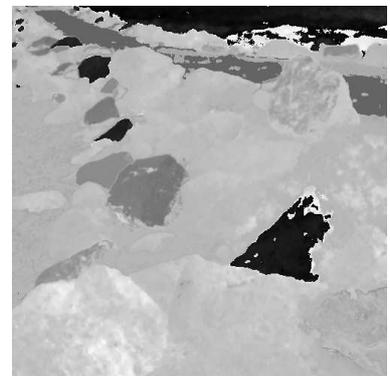
C3



H1



H2



H3

## 2 Calcul de la couleur d'une DSE

**Rappels du cours (thème A2).** Les activités suivantes sont consacrées à la manipulation colorimétrique de distributions spectrales d'énergie (DSE). Si  $E$  est une DSE, les trois fonctions prédéfinies  $\bar{x}(\lambda)$ ,  $\bar{y}(\lambda)$  et  $\bar{z}(\lambda)$  permettent de calculer les coordonnées CIE-XYZ de sa couleur au moyen des formules :

$$\begin{cases} X = K \int_{\lambda_{min}}^{\lambda_{max}} E(\lambda) \bar{x}(\lambda) d\lambda \\ Y = K \int_{\lambda_{min}}^{\lambda_{max}} E(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda \\ Z = K \int_{\lambda_{min}}^{\lambda_{max}} E(\lambda) \bar{z}(\lambda) d\lambda \end{cases} \quad (1)$$

La constante  $K$  est une constante de normalisation définie à partir de la DSE  $S$  de la source lumineuse éclairant la scène :

$$K = \frac{1}{\int_{\lambda_{min}}^{\lambda_{max}} S(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda} \quad (2)$$

Les sources lumineuses peuvent être définies à partir d'un illuminant standard (D65, A, etc.) ou d'une température de couleur  $T$  dont la DSE  $E_T$  est obtenue au moyen de la formule des corps noirs de Planck, qu'on utilise en colorimétrie de la manière suivante :

$$E_T(\lambda) = \alpha_T \frac{c_1}{\lambda^5 (e^{\frac{c_2}{\lambda T}} - 1)} \quad \text{avec} \quad \begin{cases} c_1 = 3.7415 \cdot 10^{29} \\ c_2 = 1.438810^7 \\ \alpha_T = \frac{560^5 (e^{\frac{c_2}{560 T}} - 1)}{c_1} \end{cases} \quad (3)$$

La DSE  $E(\lambda)$  d'une surface de fonction de réflectance  $r(\lambda)$  éclairée par une source lumineuse  $S(\lambda)$  se calcule au moyen de la formule :

$$E(\lambda) = \int_{\lambda_{min}}^{\lambda_{max}} S(\lambda) r(\lambda) d\lambda \quad (4)$$

Enfin, pour convertir un triplet de coordonnées  $(X, Y, Z)$  en un triplet  $(R, G, B)$ , on utilisera la matrice de passage du système sRGB :

$$\begin{pmatrix} 3.240479 & -1.537150 & -0.498535 \\ -0.969256 & 1.875992 & 0.041556 \\ 0.055648 & -0.204043 & 1.057311 \end{pmatrix} \quad (5)$$

### Mise en œuvre

En pratique, on utilisera des DSE définies entre 380 et 780 nanomètres et échantillonnées par pas de 10 nanomètres. Pour cela, on codera les DSE et les fonctions colorimétriques au moyen de tableaux de 41 nombres réels de type `float`.

Le fichier `colorimetric_data.c`, d'interface `colorimetric_data.h`, contient les définitions suivantes :

- `cie_x_bar`, `cie_y_bar` et `cie_z_bar` : courbes  $\bar{x}(\lambda)$ ,  $\bar{y}(\lambda)$  et  $\bar{z}(\lambda)$  ;
- `cie_d65` et `cie_a` : illuminants standards D65 et A ;
- `neutral_source` : source neutre  $N(\lambda) = 1.0, \forall \lambda$ .

## Calcul de la couleur d'une DSE

Le fichier `sed.c` (pour *Spectral Energy Distribution*), d'interface `sed.h`, contient la définition des constantes entières `SED_LAMBDA_MIN`, `SED_LAMBDA_MAX` et `SED_LAMBDA_STEP`, `SED_SIZE` correspondant au mode d'échantillonnage retenu. Il contient également les définitions de fonctions suivantes :

```
float *sed_alloc(void) : allocation d'une zone mémoire permettant de coder une DSE (libération avec free()).  
void sed_copy(float *dst, float *src) : recopie du contenu de la DSE src dans la DSE dst (dst doit avoir été déjà allouée);  
float *sed_dup(float *sed) : duplication de la DSE sed (la DSE dupliquée est allouée dynamiquement);  
float sed_sum(float *sed) : calcul de  $SED\_LAMBDA\_STEP \times \sum_{i=0}^{SED\_SIZE-1} sed[i]$   
void sed_multiply_by(float *e, float *f) :  $e \leftarrow e \times f$  ou  $\times$  désigne le produit terme à terme des deux DSE e et f
```

Activité 3 Le fichier `xyz.c` contient une définition incomplète des fonctions suivantes :

- `xyz_get_k_from_s` : calcul de la constante de normalisation  $K$  pour une source  $S$  (2);
- `xyz_from_sed` : calcul des coordonnées CIE-XYZ d'une DES  $E$  (1);
- `xyz_srgb_r`, `xyz_srgb_g` et `xyz_srgb_b` : calcul des coordonnées sRGB d'une couleur à partir de ses coordonnées exprimées dans le système CIE-XYZ (5).

Compléter la définition des fonctions :

- `xyz_from_sed()` : une dizaine de lignes.
- `xyz_get_k_from_s()` : 4 à 5 lignes;
- `xyz_srgb_r()`, `xyz_srgb_g()` et `xyz_srgb_b()` : 1 ligne chacune;

## Indications

Les calculs utilisant des intégrales, par exemple  $\int_{\lambda_{min}}^{\lambda_{max}} E(\lambda)\bar{x}(\lambda)d\lambda$ , peuvent être simplement mis en œuvre au moyen des fonctions du fichier `sed.c`.

Les fonctions à écrire peuvent être compilées au moyen du makefile fourni et testées au moyen de la commande `dispsed`, construite par le makefile. On doit obtenir les résultats suivants :

```
$ dispsed -D65  
255 255 255  
$ dispsed -A  
255 211 59  
$ dispsed -n  
255 242 232  
$
```

## Calcul de la DSE d'une température de couleur

Activité 4 Compléter dans le fichier `sed.c` le code de la fonction `sed_blackbody()` (6 à 8 lignes) calculant la DSE d'une température de couleur (3).

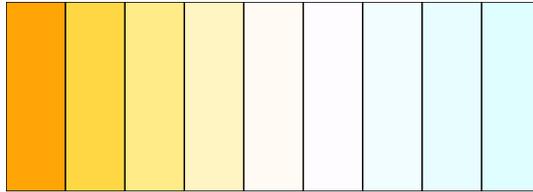
On pourra tester cette fonction au moyen de l'option `-K TEMP` de la commande `dispsed`. Exemple :

```
$ dispsed -K 9000
231 253 255
$
```

La couleur produite peut être visualisée au moyen du script `draw-rect`. Exemple :

```
dispsed -K 9000 | draw-rect --stdin -d
```

Le script `mk-light-sources` construit le fichier `bb_sources.png` qui affiche la couleur des températures de 1000K à 10000K :



## Calcul de la couleur d'une surface éclairée par une source lumineuse

La charte Macbeth (*Gretag Macbeth ColorChecker*) est un outil standard, très utilisé pour vérifier le calibrage des couleurs et des sources lumineuses. Il est composé de 24 carreaux de couleur dont la fonction de réflectance est normalisée. Les 24 fonctions de réflectance sont fournies dans le fichier `colorimetric_data.c` et le vecteur float `*gmcc_list[]` permet d'accéder à une fonction par son rang dans la charte (indice de 0 à 23).



Activité 5 Compléter dans le fichier `dispsed` le code de la fonction `print_gmcc_colors()` qui calcule la DSE (4) de chacun des 24 carreaux de la charte éclairée par la source lumineuse `light_source` et affiche les coordonnées `sRGB` de chaque DSE en utilisant la fonction `print_rgb_of_sed()`.

On peut tester cette fonction au moyen du script `mk-gmcc`. Voici trois exemples d'images obtenues pour 4500K, D65 et 9000K :

