

De: **Nicolas George** ngeorge@april.org  
Objet: Re: [EDUC] Rouge, Vert, Bleu, de 0 à 255  
Date: 3 novembre 2016 11:47  
À: educ@april.org

---

Le duodi 12 brumaire, an CCXXV, Nathalie Carrié a écrit :  
J'ai écrit un article sur le codage de la couleur, à l'attention des élèves de seconde, ou de toute personne désireuse de comprendre le codage RVB de la couleur en informatique.

L'article est déposé sous licence Creative Commons by-nc-sa, et se trouve ici :  
<http://irem.univ-reunion.fr/spip.php?article903>

C'est une base très intéressante. Je vais faire quelques critiques constructives.

Pour les enseignements scientifiques, je pense qu'il est important, même quand les sujets sont complexes et subtils, de ne jamais enseigner quelque chose de faux. On peut, ou doit même, simplifier pour que ce soit compréhensible par le public visé, mais toujours en restant dans le correct. Ça demande parfois de faire très attention à la formulation.

Il y a deux points dans ces activités qui posent problème à ce sujet.

Avant de commencer, je vais souligner un détail mineur : deux chiffres après la virgule pour le résultat de la conversion de coefficients sur 255 en pourcentage, c'est trop. Choisir le bon nombre de chiffres après la virgule fait partie des choses que j'estime que les élèves devraient savoir en fin de seconde, donc il vaudrait mieux éviter de leur faire faire des choses incorrectes par ailleurs.

Le premier point, c'est les histoires de coefficients, de pourcentages, etc. C'est bien parce que ça permet des petits exercices faciles niveau seconde, mais sur le fond, c'est hélas complètement faux, à cause d'une subtilité peu connue : le gamma.

Je prends l'exemple donné par l'activité :

```
# On peut maintenant calculer le pourcentage de chaque couleur contenue
# dans le pourpre [#9E0E40] :
# Total des 3 taux obtenus = 61,96 + 5,49 + 25,10 = 92,55%
# R = 67% , V = 6%, B= 27% . (couleurs arrondies à l'unité)
# La couleur pourpre peut donc être aussi repérée par ces 3 pourcentages
# dont le total vaut 100% :
# pourpre = (67%, 6%, 27%)
#
# Le pourpre contient 67% de rouge, 6% de vert et 27% de bleu.
```

Le pourpre #9E0E40 contient 87.6% de rouge, 0.4% et 12.0% de bleu. Les nombres sont complètement différents quand on fait le calcul correctement.

La subtilité, c'est la correction gamma. Si on compare les couleurs #A04242 et #504242, le coefficient du rouge dans l'une est le double de l'autre, mais ça ne veut pas dire que l'intensité du rouge est double. La réaction des photophores des moniteurs n'est pas linéaire, et il a été décidé par les constructeurs de ne pas faire de correction systématique.

La convention s'est stabilisée sur un gamma de 2.2, ce qui veut dire que si une couleur a un coefficient  $x$  sur  $[0;1]$ , alors l'intensité réelle des photophores est  $x^{2.2}$  (^ pour noter l'opération puissance). Par exemple, #808080 n'est pas un gris moyen, mais un gris assez foncé avec seulement 22% d'intensité, et c'est #BABABA qui correspond au gris moyen, ce dont on peut se rendre compte en la mettant à côté d'un motif avec moitié de pixels blancs moitié de pixels noirs.

Si on refait le calcul avec #9E0E40 comme ça, on trouve les nombres que j'ai donnés. À moins que j'aie fait une erreur de calcul quelque part.

J'ai dormis, à moins que j'aie fait une erreur de calcul quelque part.

Faut-il parler de cette subtilité à des élèves de seconde ? Probablement pas. Mais leur faire faire des calculs qui n'ont aucun sens n'est pas une bonne idée.

Le deuxième point que je veux aborder, c'est la notion de « couleurs primaires ». Ça n'existe pas.

On trouve beaucoup de gens, y compris parmi les enseignants, qui pensent qu'il y a quelque chose de spécial au sujet de ce rouge, ce vert et ce bleu, alors que ce n'est pas le cas.

D'un point de vue physique, une couleur est un mélange fréquences lumineuses (un spectre), et toutes les fréquences se valent.

Même la notion de lumière blanche n'existe pas, parce qu'il n'y a aucun moyen de dire qu'il y a « autant » de telle fréquence que de telle autre : un spectre d'intensité constante en fonction de la longueur d'onde sera complètement différent en fonction de la fréquence et réciproquement.

D'un point de vue physiologique, les humains ont trois sortes de récepteurs sensibles à la couleur (les cônes ; on peut mentionner les bâtonnets, qui ne contribuent pas à la perception du monde en général car ils sont complètement éblouis en situation d'éclairage normal, certains élèves ont remarqué par eux-mêmes qu'il y a toujours moins d'étoiles dans le ciel là où on regarde qu'à la périphérie ou que le bout de pop-corn tombé par terre au cinéma est visible du coin de l'oeil mais disparaît quand on regarde vers lui).

Ça nous donne bien les 3 des fameuses « couleurs primaires », mais ça s'arrête là.

Pour représenter des couleurs avec la technologie employée par les écrans, il faut bien au moins trois sortes de photophores. Mais :

Premièrement, j'ai bien dit : au moins. Le codage RGB ne peut coder que les couleurs qui sont entre les trois couleurs de base, il ne peut pas coder un orange ou un turquoise bien intense. On ne le remarque pas parce qu'on y est habitué, mais les couleurs sur un écran sont toujours un peu délavées.

Il a d'ailleurs existé des films argentiques avec plus de trois pigments pour un meilleur rendu des couleurs. Mais évidemment, tout est alors plus cher, d'où le faible succès.

(C'est une question similaire, mais pas identique, à celle du support ou non de la quadrichromie par divers logiciels de dessin. La quadrichromie utilise un quatrième pigment, noir, pour améliorer le rendu des nuances sombres, mais pas de pigment coloré supplémentaire pour élargir le cône de couleur réalisable. D'ailleurs, la quadrichromie se rapporte à la notion de couleur d'une texture, plus compliquée que la notion de couleur d'une lumière.)

Deuxièmement, même si on se limite à trois couleurs de base, rien n'oblige à prendre précisément ces trois couleurs-là. S'il y a bien trois sortes de cônes, ce ne sont pas des cônes sensibles au rouge, des cônes sensibles au vert et des cônes sensibles au bleu. Les trois sortes de cônes sont stimulées par toutes les fréquences de la lumière visible, juste pas tous de la même manière : certains réagissent plus aux faibles fréquences qu'aux fréquences moyennes et a fortiori élevées, certains réagissent plus aux fortes fréquences, certains réagissent plus aux fréquences moyennes.

Pour autant, étant donnée la géométrie du problème, il est logique de prendre des couleurs de base dans ces zones-là. Il faut imaginer un fer-à-cheval avec les couleurs de l'arc-en-ciel, et un relativement petit triangle au milieu avec un coin rouge, un coin vert et un coin bleu. Cette orientation permet d'épouser au mieux la forme du

fer-à-cheval, en particulier sa base.

Mais on aurait pu choisir un rouge plus rouge, un vert plus vert, un bleu plus violet pour couvrir une zone plus large. C'est là qu'interviennent des contraintes techniques : on ne peut pas fabriquer n'importe quelle couleur aussi facilement. C'est tout particulièrement difficile dans les bleus-violet, parce que le bleu contribue peu à l'impression de luminosité, donc on a un compromis à faire entre intensité lumineuse et intensité colorée. Mais même pour les autres, le choix exact de la couleur est le fruit d'un compromis industriel.

Le troisième point que je voulais souligner est l'affirmation comme quoi ce codage de couleurs est celui utilisé en informatique. Ce n'est pas le seul ! Ce codage est celui utilisé, mécaniquement, par les moniteurs, et il s'est propagé assez loin, par endroits jusqu'à l'utilisateur. Mais d'autres codages sont utilisés.

Dans les logiciels de dessin, même sans aller chercher la quadrichromie, il suffit de regarder les boîtes de dialogue de logiciels de dessin : en plus où à la place du choix en RGB, on trouvera souvent d'autres choix.

Un des codages fréquemment utilisé est HSV : hue, saturation, value, soit teinte, saturation, valeur : un système de coordonnées cylindrique, où la teinte donne un angle décrivant la couleur, la saturation indique à quel point la couleur est intense ou délavée et la valeur est la luminosité.

Dans le domaine de la vidéo, on ne veut surtout pas utiliser le RGB parce qu'il y a souvent une forte corrélation entre les trois composantes et donc du gaspillage d'information. Le HSV est catastrophique parce qu'il n'est pas linéaire donc marche très mal avec les transformées de Fourier utilisées. On utilise plutôt YUV, où Y est la luminance, à peu près pareil que le V du HSV, et UV sont deux coordonnées choisies de manière subjectivement orthogonales à Y. L'utilisateur final n'est en général pas confronté à YUV à moins de rentrer dans les détails.

Notons que le plus souvent, les histoires de correction gamma sont complètement négligées quand on manipule du RGB avec du HSV ou du YUV.

Pour finir, mes suggestions pratiques :

- Corriger les calculs pour utiliser le bon nombre de chiffres significatifs.
- Virer tout ce qui parle de pourcentages, c'est dénué de sens scientifiquement. Si on veut faire faire de petits calculs de ce genre aux élèves, des conversions RGB <-> HSV <-> YUV (en mentionnant très brièvement le gamma et qu'on le néglige) semblent plus utiles.
- Reformuler l'introduction parlant de couleurs primaires pour la rendre exacte. Je proposerais quelque chose du genre :

« Le fonctionnement de l'oeil humain donne une perception des couleurs à trois dimensions. Donc un mélange additif de trois couleurs de base permet de rendre l'essentiel des impressions de couleurs de la vie courante. L'industrie audiovisuelle a normalisé l'utilisation d'un certain rouge, d'un certain vert clair et d'un certain bleu foncé pour les moniteurs. Pour autant, ce choix limite le rendu des couleurs, qui seront toujours un peu délavées par rapport à la réalité, en particulier les turquoises. Notre cerveau était très doué pour s'adapter, nous ne le remarquons quasiment pas. Utiliser plus de couleurs de base permettrait un meilleur rendu, mais reviendrait plus cher. C'est pourquoi de nos jours tout le monde utilise ces trois couleurs-là, parfois qualifiées de primaires. »

--

Nicolas George

**De:** Nicolas George ngeorge@april.org  
**Objet:** Re: [EDUC] Rouge, Vert, Bleu, de 0 à 255  
**Date:** 5 novembre 2016 15:21  
**À:** francois.barillon@ac-orleans-tours.fr  
**Cc:** educ@april.org

---

Le quartidi 14 brumaire, an CCXXV, François Barillon Acad a écrit :  
Cette notion de choix "arbitraire" contredit mes connaissances sur le sujet.

L'oeil humain possède trois types de cellules appelées "cônes" qui présentent un maximum de sensibilité aux longueurs d'ondes du rouge, du vert et du bleu "standards" utilisés en synthèse additive. Le choix de ces longueurs d'ondes permet la gamme la plus large possible de couleurs captables par un oeil humain.

C'est très simplifié, au point de commencer à être faux.

Pour commencer, je doute que le maximum de sensibilité soit bien défini. On parle bien d'un mécanisme biologique. La courbe de réaction réelle dépend certainement des individus, des circonstances (par exemple après repos ou éblouissement) et de plein d'autres paramètres. On a des modélisations officielles de la courbe de réponse, mais ce ne sont que ça, des modélisations qui collent en moyenne.

D'autre part, rien ne dit que prendre des couleurs de base aux pics de sensibilité donne la gamme représentable la plus large. Il suffit d'ailleurs d'imaginer un cas extrême à la façon des mathématiciens pour s'en rendre compte : si les trois pics de sensibilité étaient proches les uns des autres, il vaut mieux prendre quand même des couleurs éloignées.

Pour avoir la gamme représentable la plus large possible, il faut choisir des couleurs de base les plus éloignées possibles. Mais bien sûr ce n'est pas aussi simple. D'abord, la notion d'éloignement est subjective, et elle-même déterminée par les fonctions de réponse des récepteurs. Ensuite, si on prend une couleur trop loin des pics de sensibilité, elle sera mal perçue et donc peu efficace ; c'est exactement le problème avec le bleu. Enfin, les courbes de sensibilité elles-mêmes ne sont pas complètement arbitraires, elles ont été optimisées par l'évolution et la sélection naturelle pour donner une bonne précision de mesure, donc pour avoir des pics assez éloignés.

Donc le choix des couleurs de base n'est pas INDIFFÉRENT : il y a clairement des choix meilleurs que les autres. Mais il est bien arbitraire au sens où il n'y a pas un optimum bien précis mais un assez large plateau où tous les choix donnent à peu près la même réponse.

Et surtout il est clair que passer en quadrichromie, en remplaçant le vert par un jaune et un turquoise, donnerait un meilleur résultat, tout en abandonnant toute prétention à correspondre au pic de sensibilité des cônes moyens.

Et si tous ces arguments théoriques ne suffisent pas, je peux sortir les arguments factuels. Les longueurs d'ondes choisies par le standard sRGB sont respectivement 610, 550 et 466 nm, alors que les pics de sensibilité sont 565, 530 et 420 nm. On notera en particulier que 565 nm, ce n'est pas rouge du tout, c'est complètement jaune.

Le quintidi 15 brumaire, an CCXXV, William Gambazza a écrit :

la fréquence n'est que l'inverse de la longueur d'onde à un facteur près ( $c$  : la vitesse de la lumière  $\rightarrow$  fréquence =  $c / \lambda$ ). Ce qui fait que la représentation du spectre d'une source lumineuse peut être fait indifféremment en longueur d'onde ou en fréquence (historiquement, c'était plutôt représenté en fréquence, ce qui a donné lieu aux termes ULTRAVIOLETS et INFRAROUGES mais actuellement on représente un spectre plutôt en longueur d'ondes).

Donc, dire qu'un spectre d'intensité constante pour chaque longueur d'onde sera différent en fonction de la fréquence n'a pas de sens. Si la fréquence change, la longueur d'onde aussi ! Ce ne sont que deux façons de décrire (mesurer), un même caractère ondulatoire de la lumière.

Je suis désolé, mais c'est faux.

Un spectre est une distribution, pas une fonction : on ne regarde pas l'intensité d'une longueur d'onde précise mais l'intensité sur des intervalles. C'est la même subtilité que pour la notion de densité de probabilités.

Or quand on fait un changement de variable sur une distribution, il faut aussi tenir compte de la forme différentielle. Or avec  $\lambda = c/v$ , on obtient  $d\lambda = -c/v^2 dv$  : si le spectre est constant en fonction de la fréquence, il ne l'est plus du tout en fonction de l'intensité et réciproquement.

D'ailleurs, l'idée même d'un spectre constant se heurte à une objection tarte à la crème : constant... jusqu'où ? Clairement, les lumières blanches de la vie courante émettent plus dans le visible que dans le gamma et les micro-ondes.

En pratique, la meilleure définition qu'on ait de lumière blanche, c'est le spectre du corps noir à 5780 K : la lumière du Soleil, parce que c'est ce que des millénaires d'évolution ont optimisé.

Là aussi je peux tenter une réponse : en 1°S notamment mais en 1°L aussi, on doit traiter les synthèses additive et soustractives de manière à ce que les élèves puissent

- Interpréter la couleur observée d'un objet éclairé à partir de celle de la lumière incidente ainsi que des phénomènes d'absorption, de diffusion et de transmission.
- Utiliser les notions de couleur blanche et de couleurs complémentaires.
- Prévoir le résultat de la superposition de lumières colorées et l'effet d'un ou plusieurs filtres colorés sur une lumière incidente.
- Illustrer et comprendre les notions de couleurs des objets.
- Distinguer couleur perçue et couleur spectrale

Du coup, disposer de filtres étroits spectralement permet de mettre en oeuvre des manips ou on éclaire des objets colorés avec des lumières colorées. Si le filtre coloré est bon et que la couleur de l'objet est bonne spectralement parlant, on peut mieux montrer l'interaction lumière matière. En clair, un objet rouge éclairé avec une radiation verte devrait apparaître noir mais le filtre est trop large, il laisse passer des radiations vertes que l'objet pourra diffuser. Il n'apparaîtra donc plus noir et c'est plus délicat, du coup, de "montrer" ces interactions lumière/matière

Je vois. Mais naïvement, j'ai envie de dire qu'on peut obtenir une lumière très monochromatique avec un pointeur laser et une loupe pour le faire diverger, pour un budget ridicule.

Et même si quelque chose empêche cette approche (est-ce que les interférences du laser perturberaient la compréhension ? est-ce que des normes de sécurité l'interdisent ?), je ne vois pas d'argument qui exige que ces filtres soient exactement à la longueur d'onde des couleurs de base du sRGB.