BE 1 : Images

1 Images BMP

Dans ce TP, nous nous intéresserons à la création d'images au format BMP.[1] Ce format de fichier a le bon goût d'être simple à manipuler (pas de compression) et être lisible (normalement) par vos navigateurs web et applications préinstallées sur vos ordinateurs.

1.1 Couleurs RGB

L'encodage RGB est un encodage courant des couleurs en informatique (pas le seul). Dans cet encodage, une couleur est déterminée par la proportion des couleurs primaires rouge (Red), vert (Green) et de bleu (Blue). Chaque proportion est codée sur un octet : 0 signifie l'absence de cette couleur primaire, et 255 est la valeur maximale pour une couleur primaire.

Par exemple, la couleur rouge est encodée avec R = 255, G = 0 et B = 0. Plus succinctement, on note la couleur rouge `0xff0000`. De manière similaire, la couleur verte est `0x00ff00` et la couleur bleue `0x0000ff`. De plus, le blanc est encodé `0xffffff` et le noir `0x000000`. Vous pouvez en apprendre plus sur cet encodage ici : `https://fr.wikipedia.org/wiki/Rouge_vert_bleu`.

1.2 Format BMP

1.2.1 En-têtes

Vous pouvez passer cette section si vous le souhaitez, l'encodage correspondant à ces en-têtes est déjà programmé pour vous dans la fonction `write_image`.

Le format de fichier BMP est composé (comme beaucoup de formats de fichiers) d'un premier en-tête de 14 octets contenant des informations sur le fichier (type, taille du fichier, etc.), un second en-tête de 40 octets contenant des informations sur l'image (notamment sa largeur, sa hauteur, le nombre de couleurs utilisées, etc.), suivi des données de l'image à proprement parler, c'est-à-dire pour chaque pixel, trois octets qui encodent la couleur de ce pixel. Les valeurs codées sur plusieurs octets sont encodées en *little-endian* (les octets de poids faible d'abord).

Le premier en-tête (le *Bitmap File Header*) suit le format suivant :

— les deux premiers octets correspondent aux caractères ASCII `BM`. Ces deux octets indiquent aux applications qui vont ouvrir ce fichier qu'il s'agit d'un fichier au format BMP. La plupart des formats de fichier utilisent ce procédé. On appelle ces quelques premiers octets un *magic number*.

— les quatre octets suivants encodent la taille totale du fichier : l'en-tête s'étend sur 54 octets, et on utilise 3 octets par pixel, donc ce champ vaut $54 + 3 \cdot w \cdot h$, où w et h sont la largeur et la hauteur de l'image.

— les quatre octets suivants identifient l'application qui a créé le fichier : dans notre cas, nous y mettrons la valeur 0.

— les quatre octets suivants encodent l'offset de début de l'image, c'est-à-dire 54.

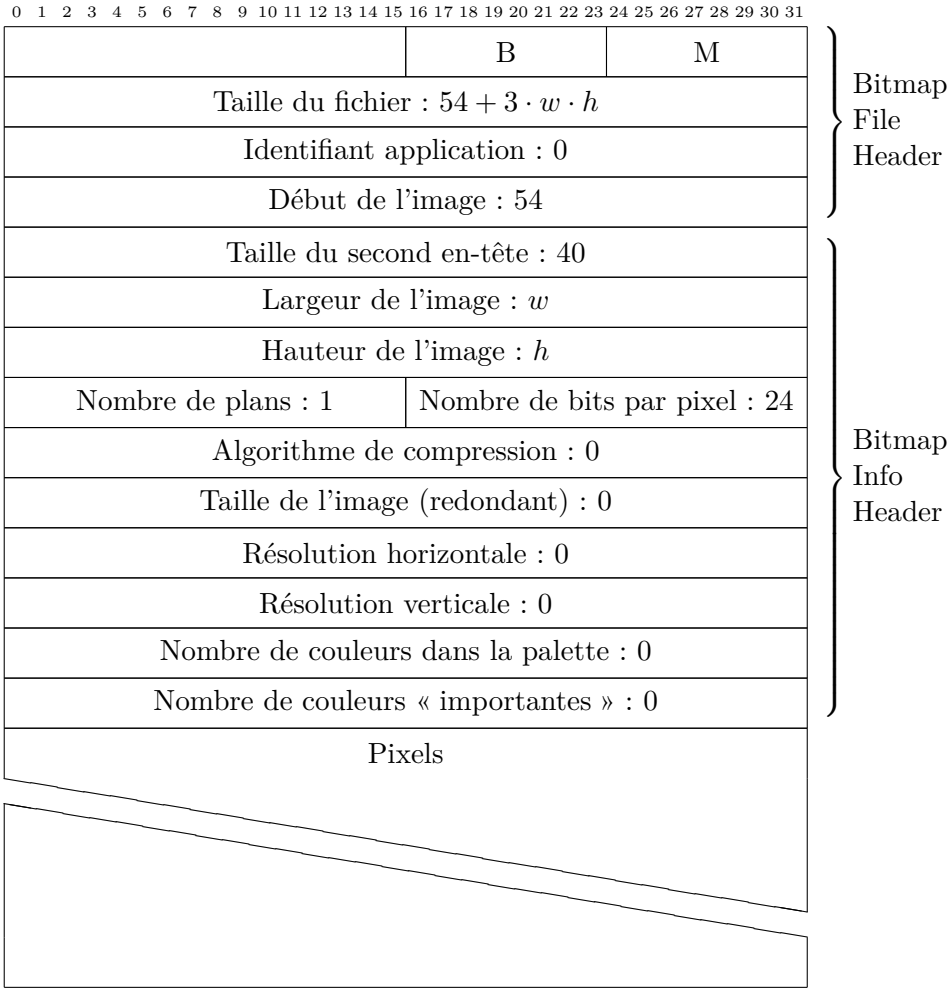
Le second en-tête (le *Bitmap Info Header*) suit le format suivant :

— 4 octets : la taille de cet en-tête (40)

— 4 octets : la largeur de l'image

1. `https://fr.wikipedia.org/wiki/Windows_bitmap`

— 4 octets : la hauteur de l'image
— 2 octets : le nombre de *plans* de l'image (vaut 1)
— 2 octets : le nombre de bits par pixel : on utilisera la valeur 24 (8 bits pour chacun de R, G, et B)
— 4 octets : l'algorithme de compression. On n'utilisera pas de compression et on utilisera donc la valeur 0 pour ce champ.
— 5 champs de 4 octets qu'on mettra à 0.

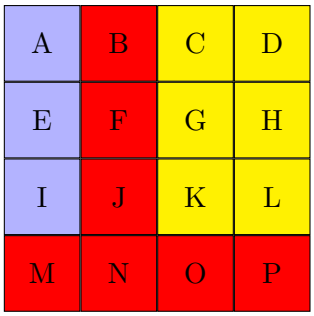


1.2.2 Données de l'image

Ici reprennent les explications essentielles à votre travail pour encoder les pixels de l'image au format attendu pour une image BMP.

Les données de l'image sont ensuite encodées, pixel par pixel.

— Chaque pixel est encodé par sa couleur RGB dans l'ordre B, puis G, puis R. Un pixel rouge (RGB `0xff0000`) sera donc encodé par les trois octets `00`, `00` puis `ff`.
— Les pixels sont décrits ligne-par-ligne, **en commençant par la ligne du bas**.



Ainsi, les pixels de l'image ci-dessus seront encodés dans l'ordre `MNOPIJKLEFGHABCD`.
Plus précisément, étant donné que le rouge est `0xff0000`, le jaune est `0xffff00` et le bleu est `0x0000ff`, on aura l'encodage suivant :

```
00 00 ff 00 00 ff 00 00 ff 00 00 ff
ff 00 00 00 00 ff 00 ff ff 00 ff ff
ff 00 00 00 00 ff 00 ff ff 00 ff ff
ff 00 00 00 00 ff 00 ff ff 00 ff ff
```

Vous pouvez vérifier en ouvrant l'image `example.bmp` et en utilisant un éditeur hexadécimal :

```
$ hexdump -s54 -C example.bmp
00000036  00 00 ff 00 00 ff 00 00  ff 00 00 ff ff 00 00 00  |................|
00000046  00 ff 00 ff ff 00 ff ff  ff 00 00 00 00 ff 00 ff  |................|
00000056  ff 00 ff ff ff 00 00 00  00 ff 00 ff ff 00 ff ff  |................|
00000066
```

L'option `-s54` signifie de commencer à lire au 54-ème octet du fichier, l'option `-C` permet d'afficher octet par octet (et pas groupé par 2 octets, avec les problèmes d'endianness que cela implique).

— **Important.** Chaque ligne de pixels est complétée avec des bits de bourrage (*padding bits*), afin que chaque ligne de pixels soit encodée par un multiple de 4 octets. La valeur de ces octets de bourrage n'a pas d'importance : on pourra mettre des 0.
Par exemple, si la largeur de l'image est 30, on utilise pour chaque ligne $30 \times 3 = 90$ octets utiles, mais on doit rajouter 2 octets de bourrage pour arriver au prochain multiple de 4, c'est-à-dire 92.
Vous pouvez échapper à cette contrainte en ne considérant dans un premier temps que des images dont la largeur est elle-même un multiple de 4, pour gagner du temps.

1.3 Structures `pixel` et `image`

On modélisera une image en C grâce aux structures suivantes :

```c
typedef struct pixel {
  unsigned char r;
  unsigned char g;
  unsigned char b;
} pixel;
typedef struct image {
  unsigned int width;
  unsigned int height;
  struct pixel* data;
} image;
```

Ces définitions sont écrites pour vous dans le squelette `be1.c`. Comme promis en cours, nous vous fournissons un `Makefile`, que vous pouvez consulter si l'envie vous en prend, et que vous pouvez surtout utiliser en tapant `make` dans un terminal, dans le répertoire contenant votre fichier `be1.c` et `Makefile`.

Un pixel contient donc trois champs de type `unsigned char` : un par couleur primaire de l'encodage RGB.

Une image est une structure contenant la largeur, la hauteur de l'image, ainsi qu'un tableau de pixels.

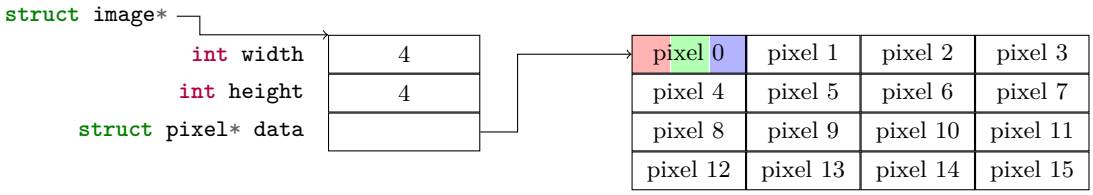


FIGURE 1 – Image dans la mémoire

Premièrement, nous allons créer une image sous la forme d'une `struct image`.

Question 1.1. Écrivez une fonction `image* empty_image(int w, int h);` qui crée une image pour laquelle tous les pixels sont bleus, de largeur `w` et de hauteur `h`.

Indications :

- La couleur bleue est encodée `0x0000ff`.
- La mémoire associée à l'image `empty_image(4, 4)` est représentée en Figure 1.
- Les pixels de l'image sont disposés les uns à la suite des autres, en commençant par tous ceux de la première ligne (indice 0, celle du bas), puis tous ceux de la deuxième ligne, etc. Ainsi, le i-ème pixel de la j-ème ligne sera à la $j * w + i$-ème position. Par exemple, le 17ème (indice 16) pixel de la 5ème (indice 4) ligne sera à la position $4 * w + 16$.

Maintenant que cela est fait, vous ne pouvez pas vraiment tester que vous avez réussi cette tache. Nous allons remédier à ce problème en complétant la fonction `write_image`, qui prend une `struct image` et qui encode l'image dans un fichier BMP. Pour ce faire, on aura dans un premier temps besoin de deux fonctions auxiliaires pour écrire des `char` et des `int` dans un fichier.

Question 1.2. Écrivez les deux fonctions `void write_int(int data, FILE* f)` et `void write_byte(unsigned char data, FILE* f)` qui écrivent, respectivement un entier ou un octet, dans le fichier `f`. Ces écritures sont binaires, et non textuelles, et vont donc utiliser la fonction `fwrite`, et pas `fprintf`.

Vous êtes presque sur le point de pouvoir admirer le résultat de vos efforts. Il ne vous reste plus qu'à écrire dans le fichier BMP chacun des pixels de l'image, comme décrit dans la Section 1.2.2

Question 1.3. Complétez la fonction `void write_image(image* img, char* filename);` qui écrit l'image `img` dans le fichier dont le nom est `filename`, en respectant le format étudié ci-dessus.

L'écriture des en-têtes est déjà faite pour vous : vous n'avez qu'à écrire les données correspondant à chacun des pixels, dans l'ordre défini ci-dessus.

Repensez au problème des octets de bourrage discuté précédemment. Si vous souhaitez ne pas vous en préoccuper pour le moment, retenez que vous serez limités à des images dont la largeur est un multiple de 4. (Ce sera le cas dans les exemples que l'on vous demandera d'écrire dans la suite.)

Question 1.4. Écrivez une fonction `main` qui crée une image vide (toute bleue) de taille 100x100, et qui l'écrit dans un fichier `blank.bmp`. Vérifiez que vous pouvez ouvrir cette image avec votre visionneur préféré, et que l'image est bien toute bleue.

2 Dessiner des formes

Nous allons maintenant dessiner des formes sur notre image. Vous allez dessiner des points, des lignes, des rectangles, des cercles, et des arcs de cercle. Ces formes auront des couleurs que l'on passera comme un seul entier, par exemple `0xff0000` pour rouge, ou `0x00ff00` pour vert.

Question 2.1. Écrivez une fonction `struct pixel decode_color(unsigned int color)` qui construit un pixel (avec les composantes `r`, `g` et `b`) à partir d'un entier.

Utilisez les opérateurs de décalage `<<` ou `>>` et les opérateurs binaires `|`, `&` ou `^`.

Vérifiez que votre décodage est correct en appelant la fonction `test_decode_colors()`, écrite pour vous, dans la fonction `main`.

Question 2.2. Écrivez une fonction `void draw_pixel(int x, int y, unsigned int color, image* img)` qui change la couleur du pixel aux coordonnées (x, y) en `color`, dans l'image `img`.

Attention : vérifiez que les coordonnées (x, y) sont valides pour l'image avant d'écrire n'importe où. Dans le cas où les coordonnées sont invalides, vous pouvez choisir d'ignorer complètement cette situation, ou bien afficher un message d'erreur, ou encore afficher un message d'erreur et arrêter l'exécution du programme en appelant la fonction `exit`.

Test : Dans la fonction main, après la création de votre image vide, et avant d'écrire votre image dans un fichier, dessinez des pixels rouges aux coordonnées $(50, 50)$, $(25, 25)$ et $(2000, 2000)$.

Une fois que vous vous êtes assurés que votre fonction dessine bien des pixels aux coordonnées indiquées, et ne provoque pas d'erreur pour le point $(2000, 2000)$, supprimez ces points de votre fonction `main`.

Question 2.3. Écrivez une fonction `void draw_rectangle(int x1, int y1, int x2, int y2, int color, image* img)` qui dessine un rectangle **plein**, de couleur `color` dans l'image `img`, dont le coin en bas à gauche est aux coordonnées (x_1, y_1) et le coin en haut à droite est aux coordonnées (x_2, y_2).

Test : dans la fonction `main`, ajoutez les instructions nécessaires pour dessiner un rectangle vert dont le coin en bas à gauche est à $(55, 0)$ et le coin en haut à droite à $(95, 40)$.

Conservez ce rectangle pour la suite de ce TP, nous sommes en train de produire une œuvre

d'art.

Question 2.4. Écrivez une fonction `void draw_circle(int x, int y, int color, int radius, image* img)` qui dessine un disque de couleur `color` dans l'image `img`, dont le centre est aux coordonnées (x, y) et le rayon est `radius`.

On rappelle que les points (x, y) à l'intérieur d'un cercle de centre (x_C, y_C) et de rayon r sont caractérisés par l'équation :

$$(x_C - x)^2 + (y_C - y)^2 \leq r^2$$

Précision : on considèrera que dessiner un cercle de rayon 0 revient à dessiner son centre (et pas ne rien dessiner).

Test : dessinez un cercle jaune (`0xffff00`) de centre $(15, 85)$ et de rayon 20.

Conservez également ce cercle pour la suite.

Question 2.5. Écrivez une fonction `void draw_line(int xfrom, int yfrom, int xto, int yto, int color, image* pf);` qui dessine une ligne depuis le point (`xfrom`, `yfrom`) jusqu'au point (`xto`, `yto`).

Pour ce faire :

1. Calculez le nombre de points (`int nbpoints`) à dessiner : il s'agit du nombre maximal entre les valeurs absolues de (`xfrom` − `xto`) et (`yfrom` − `yto`).
   Utilisez la fonction `int abs(int x)`, déclarée dans l'en-tête `<math.h>`, qui permet de calculer la valeur absolue d'un nombre.
2. Calculez les incréments (`float dx` et `float dy`) en x et y qui vont être ajoutées à chaque nouveau point.
3. Dessinez tous les `nbpoints` points.

Par exemple, pour dessiner la ligne de $(0, 0)$ à $(20, 40)$:
- `nbpoints` sera égal à 40
- `dx` sera égal à `0.5` ; `dy` sera égal à `1`
- on dessinera les points $(0, 0)$, $(0.5, 1)$, $(1, 2)$, $(1.5, 3)$, ...
  Comme les coordonnées des points sont entières dans notre format, les flottants seront arrondis à l'entier inférieur (par défaut).

Question 2.6. Dans la fonction `main`, dessinez des lignes de $(55, 40)$ à $(75, 55)$, et de $(75, 55)$ à $(95, 40)$, puis observez le résultat.

Conservez ces lignes pour la suite.

Question 2.7. Écrivez une fonction `void draw_arc(int xc, int yc, int color, int radius, int anglefrom, int angleto, image* pf)` qui dessine un arc de cercle :
- de centre (`xc`, `yc`) ;
- de rayon `radius` ;

— de couleur `color` ;
— depuis l'angle `anglefrom` (en degrés) à l'angle `angleto` (en degrés).

On utilisera les fonction `sin` et `cos` de la librairie `<math.h>`. Attention, ces fonctions prennent leurs arguments comme des angles en radians. Pour convertir un angle en degrés `deg` en radians : `float rad = (float)deg * acos(-1) / 180` [a]

Les coordonnées d'un point sur un arc de cercle de centre (x_C, y_C), de rayon r et à un angle ϕ (en radians) sont obtenues par :

$$(x, y) = (x_C + r \cdot \cos(\phi),\ y_C + r \cdot \sin(\phi))$$

Compilation : Pour compiler avec les fonctions mathématiques, il faut indiquer au compilateur que l'on veut lier l'exécutable avec la librairie mathématique. Pour ce faire, on ajoute l'option `-lm` au compilateur :

```
$ gcc be1.c -lm -o be1
```

(Cette remarque est donnée à titre informatif. En effet, dans notre grande bonté, nous avons déjà inclus cette option dans le Makefile.)

a. La constante PI n'est pas fournie par la librairie C : on l'obtient avec un appel à `acos(-1)`.

Question 2.8. Dessinez les arcs suivants, tous de centre $(100, 0)$, de l'angle 90 à 180 degrés :
— rayon 90, couleur `0xde0000`
— rayon 87, couleur `0xfe622c`
— rayon 84, couleur `0xfef600`
— rayon 81, couleur `0x00bc00`
— rayon 78, couleur `0x009cfe`
— rayon 75, couleur `0x000084`
— rayon 72, couleur `0x2c009c`

Prenez quelques instants pour admirer le résultat.

Question 2.9. On souhaite pouvoir dessiner des lignes plus épaisses qu'un pixel : rajoutez un paramètre `int width` aux fonctions `draw_line` et `draw_arc` puis utilisez la fonction `draw_circle` au lieu de `draw_pixel`.

Adaptez évidemment les appels à ces fonctions pour y ajouter le paramètre `width`. Pour obtenir une ligne d'épaisseur x pixels, quel rayon de cercle doit-on utiliser ?

Utilisez une épaisseur de 4 pixels pour les arcs de la question précédente.

3 Dessiner des visages

Nous vous proposons maintenant de dessiner des visages. Le code pour ce faire se trouve dans la fonction `draw_face`, disponible dans le fichier `be1.c`. Cette fonction prend en paramètre une `struct face_description* f`, qui décrit les différentes couleurs et épaisseurs de trait à utiliser. Cette structure est définie et commentée, toujours dans le même fichier. Enfin, une fonction `default_face()` construit une `face_description` par défaut, prête à être utilisée.

Question 3.1. Appelez la fonction `draw_face` dans la fonction principale, sur une image de 100x100 à la position $(50, 50)$. Passez `default_face()` pour l'argument de type `face_description` pour le moment.

Écrivez le résultat dans un fichier `visage.bmp`.

Nous souhaitons pouvoir changer les caractéristiques du visage sans avoir à recompiler notre programme à chaque fois. Pour ce faire, nous allons utiliser un fichier de description de visage, dont voici un exemple (le fichier face.txt) :

```
skin color 3d 25 2f
eye color 33 22 22
eye bg color ff dd ff
eyebrow color ff ff 2d
eyebrow width 5
nose color 00 ff ff
nose size 1
mouth color dc 86 f3
mouth width 1
mask yes
mask color 00 dc dc
mask border color aa bb cc
```

Nous allons lire ce fichier, remplir une structure `face_description`, et utiliser cette structure pour dessiner le visage correspondant.

Question 3.2. Écrivez une fonction `struct face_description* read_face(char* file)` qui lit une description de visage depuis le fichier de nom `file`.

- Ouvrez le fichier (`fopen`).
- Lisez le fichier ligne par ligne (`fgets`).
  - `fgets` a besoin d'un buffer (un tableau de caractères) où stocker la ligne lue. Allouez une variable locale à cet effet, de taille 256 caractères. (On supposera que les lignes ne peuvent pas être plus longues que cela)
  - Donnez cette taille (256) en deuxième paramètre à `fgets`.
  - `fgets` renvoie un pointeur vers la chaîne de caractères lue si on a pu lire une nouvelle ligne depuis le fichier, ou `NULL` si on est arrivé à la fin du fichier. La boucle principale pour lire chaque ligne peut donc être de la forme : `while (fgets(line, 256, fd)) { ... }`.
- Examinez chaque ligne en utilisant la fonction `sscanf`

```
int i1, i2;
char c;
int res = sscanf(ligne, "toto %hhx %d %d\n", &c, &i1, &i2);
```

Si `ligne` correspond au format demandé, la variable `res` contiendra le nombre de valeurs trouvées, *i.e.* le nombre de spécifieurs de format effectivement trouvées, soit 3 dans ce cas. Si la ligne ne commence pas par `toto`, `res` vaudra 0.

Le spécifieur `"%hhx"` désigne un caractère non signé noté en hexadécimal.
— Une fois toutes les lignes traitées, fermez le fichier (`fclose`).

4 Bonus

Si vous êtes très rapide, et que vous voulez aller plus loin :

— prenez le nom du fichier de description de visage, et le nom du fichier BMP de sortie en arguments de votre programme principal, de sorte que l'on puisse appeler votre programme comme cela :

```
$ ./be1 face.txt mon-visage.bmp
```

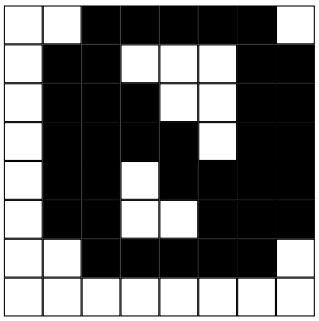
— Ajoutez des lunettes, des cheveux, des oreilles aux visages.

— Le fichier `font.c` contient une description de chaque caractère imprimable sous forme de bitmap. Par exemple, le *bitmap* correspondant au caractère 0 est la ligne suivante :

```
{ 0x3E, 0x63, 0x73, 0x7B, 0x6F, 0x67, 0x3E, 0x00},    // U+0030 (0)
```

Il s'agit d'un tableau de 8 caractères décrivant l'affichage du caractère `0`. Chaque caractère (8 bits) correspond à une ligne de pixels, chaque bit du caractère correspon à un pixel.
Par exemple, `0x3E` = `0b00111110`, `0x63` = `0b01000011`, `0x73` = `0b01110011`, `0x7b` = `0b01111011`, `0x6f` =

```
0x3E = 0b00111110
0x63 = 0b01100011
0x73 = 0b01110011
0x7B = 0b01111011
0x6F = 0b01101111
0x67 = 0b01100111
0x3E = 0b00111110
0x00 = 0b00000000
```



Écrivez une fonction `draw_letter(unsigned char bitmap[8], int x, int y, image* img)` qui affiche un bitmap `bitmap` à la position (x, y) dans l'image `img`.
Écrivez une fonction `draw_string(char* s, int x, int y, image* img)` qui affiche une chaîne de caractères `s` sur une image, à une position donnée.
Affichez votre prénom sous un visage.

— Laissez libre cours à votre imagination !