

Bibliographie :

- "Manuel d'informatique et sciences du numérique (ISN) , Option ISN pour les lycéens." Jean-Pierre Archambault (Auteur), Gilles Dowek (Auteur), Emmanuel Baccelli (Auteur). 2012. Editions Eyrolles.
- www.wikipedia.org. Mots clés: Matrice CCD.
- <http://www.table-ascii.com/>

Prérequis :

Base décimale, base binaire, base hexadécimale, bit, octet.

Table des matières

INTRODUCTION	1
I. IMAGES NUMERIQUE EN NIVEAUX DE GRIS.....	2
1.1 DE L'IMAGE PHYSIQUE A L'IMAGE NUMERIQUE	2
1.2 FONCTIONNEMENT DE LA MATRICE CCD.....	2
1.3 QUANTIFICATION DE L'IMAGE NUMERIQUE	4
1.4 REPRESENTATION MATRICIELLE DE L'IMAGE NUMERIQUE.....	5
II. IMAGES NUMERIQUES EN COULEURS	6
2.1 PERCEPTION DES COULEURS PAR L'OEIL HUMAIN.....	6
2.2 REPRESENTATION D'UNE IMAGE EN COULEUR.....	7
2.3 POIDS D'UNE IMAGE EN COULEUR	7
III. QUELQUES FORMATS D'IMAGES NUMERIQUES	8
3.1 REPRESENTATION VECTORIELLE DES IMAGES.....	8
3.2 REPRESENTATION PAR PIXELS DES IMAGES.....	8
3.3 NOTION DE FORMAT.....	10
3.4 IMAGE EN NOIR ET BLANC: FORMAT PBM.....	10
3.5 IMAGE EN NIVEAU DE GRIS: FORMAT PGM.....	11
3.6 IMAGE EN COULEURS: FORMAT PPM	11

Introduction

Rappel sur la base binaire. L'homme dans le monde occidental a pris l'habitude de compter en base 10, vraisemblablement car il possède 10 doigts. En revanche, la machine ne reconnaît que deux états: éteint (0) ou allumé (1). Elle fonctionne donc en base binaire. Un caractère binaire est appelé bit et permet de compter de 0 à 1 (soit deux états!) en base décimale. Un regroupement de 8 bits est appelé octet et permet de compter de 0 à 255, soit 256 états en base décimale. L'octet est généralement l'unité de mémoire dans un ordinateur. Il sert à stocker les différentes informations que nous utilisons (documents texte, images, sons, films, etc.).

Objectif du chapitre. Dans ce chapitre, nous allons répondre à la question: "Comment sont représentés les images numériques dans un ordinateur?" Pour répondre convenablement à cette question, il convient de rappeler la manière dont les images physiques, réelles sont détectées, puis numérisées par un système électronique appelé CCD (Charge Coupled Device ou Dispositif à Transfert de Charge). Nous présenterons ensuite le pixel (Picture Element) c'est-à-dire un élément d'image en niveau de gris et la manière dont la qualité d'une image est reliée au nombre de bit associé à un pixel pour coder un niveau de gris. Nous décrirons ensuite la manière dont est construite et mémorisée une image en couleur. Enfin, nous présenterons brièvement deux formats utilisés pour mémoriser une image dans la mémoire d'un ordinateur.

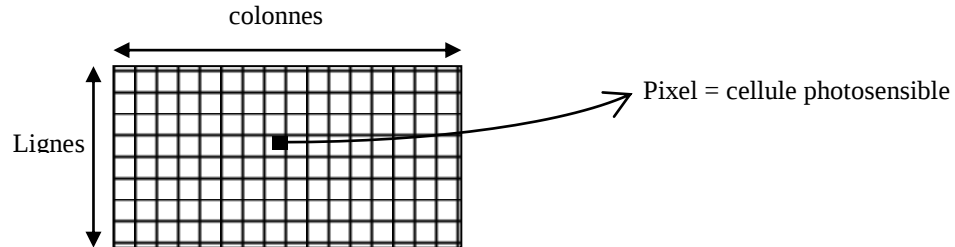
I. Images numérique en niveaux de gris

1.1 De l'image physique à l'image numérique

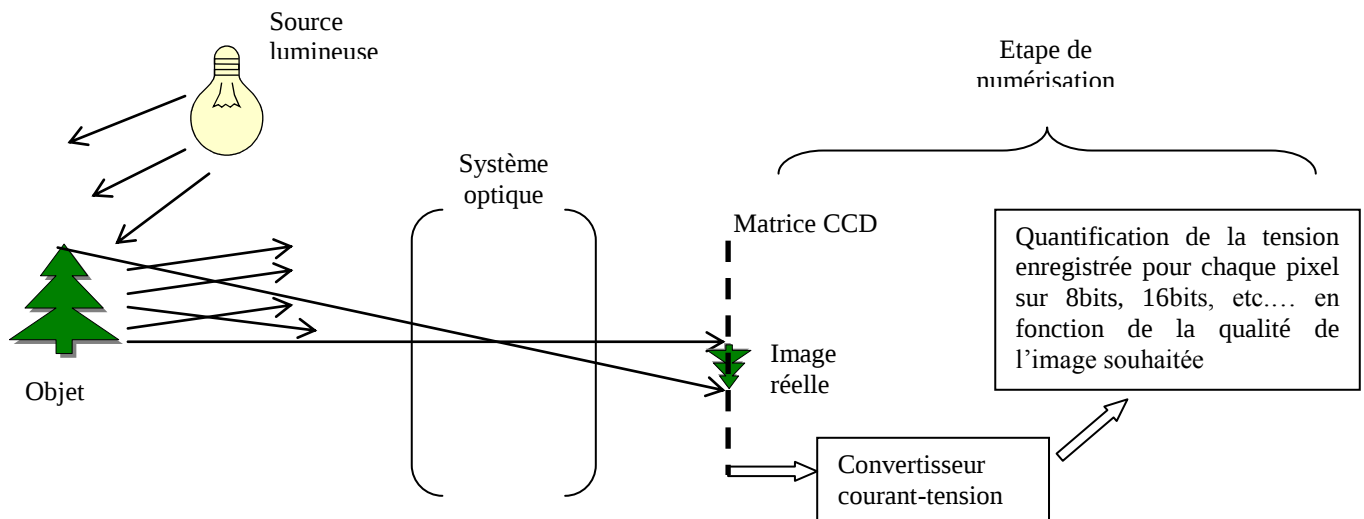
Une image réelle est l'image optique d'un objet, qui se forme sur un écran de façon nette grâce à un système optique (voir schéma suivant). Cette image lumineuse est la manifestation visuelle d'une **onde électromagnétique** qui représente un motif plus ou moins intelligible par un observateur.

Effectuer l'acquisition d'une image numérique revient à convertir une image réelle en données numériques compréhensibles par la machine. Dans le cadre d'images optiques issues du rayonnement électromagnétique, ceci est réalisé à l'aide d'un appareil électronique appelé « matrice CCD » (Charge Coupled Device) ou Dispositif à transfert de charge.

Une matrice CCD est composée de plusieurs pixels (« Picture element ») disposés sous forme de tableau ou de grille comme le montre la figure suivante:



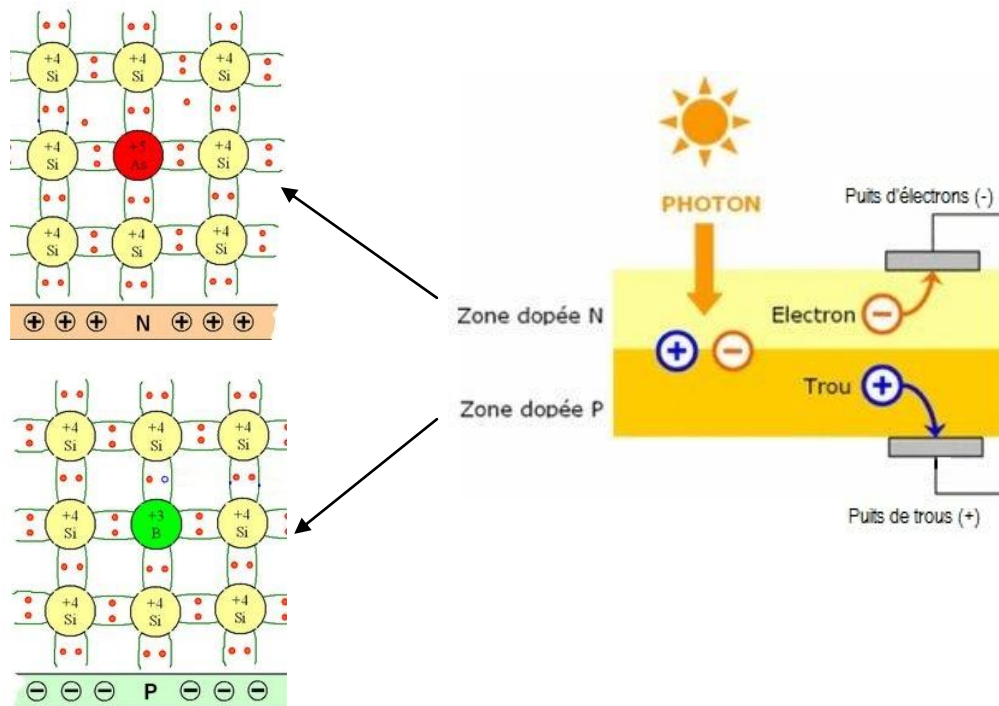
Chaque pixel est un capteur photoélectrique composé d'un matériau semi-conducteur sensible à la lumière. Ce dispositif permet ainsi d'enregistrer en des points bien précis de l'espace l'intensité lumineuse, et ainsi de réaliser un échantillonnage spatial de l'image réelle qui se forme sur la matrice CCD. Actuellement (en 2013) les meilleurs appareils photographique numériques sont composés de matrice CCD contenant plus de 20 million de pixels ! Le mécanisme d'acquisition peut se schématiser ainsi :



Sur chaque pixel, un certain nombre d'électrons sont créés proportionnellement aux nombre de photons reçus par le pixel. Ces électrons sont ensuite transférés de proche en proche vers un convertisseur courant-tension. La tension correspondant à chaque pixel qui est proportionnelle à l'intensité lumineuse reçue par le pixel, est enfin « quantifiée », c'est-à-dire enregistrée sur un nombre donné de « bit » correspondant à un nombre discret et fini de niveaux de gris entre le noir (intensité lumineuse nulle reçue par le pixel) et le blanc (intensité maximale qu'il est possible d'enregistrer sur un pixel).

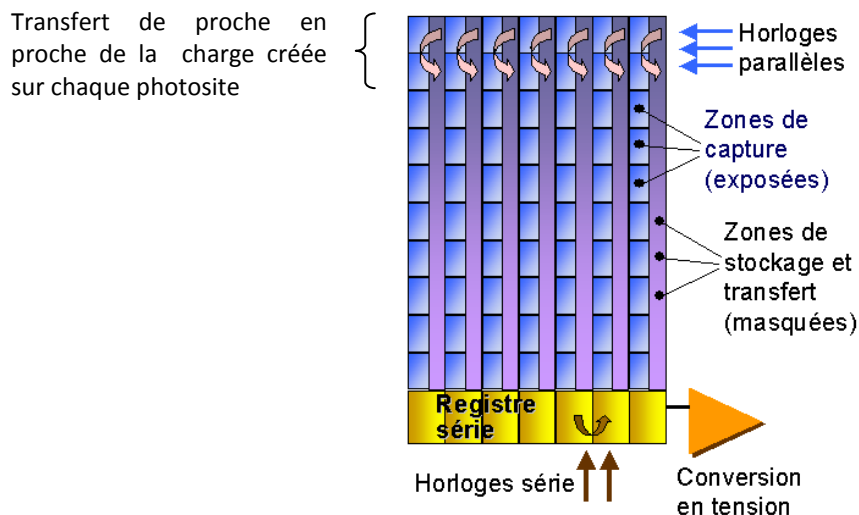
1.2 Fonctionnement de la matrice CCD

Chaque pixel d'une CCD est un capteur appelé **photosite sensible** à la lumière, composé d'un matériaux semi conducteur (généralement du silicium). Comme le montre la figure suivante, lorsqu'une onde lumineuse atteint le pixel, **une paire électron(-)/trou(+)** est créé par effet photo électrique à l'intérieur du matériau semi conducteur:



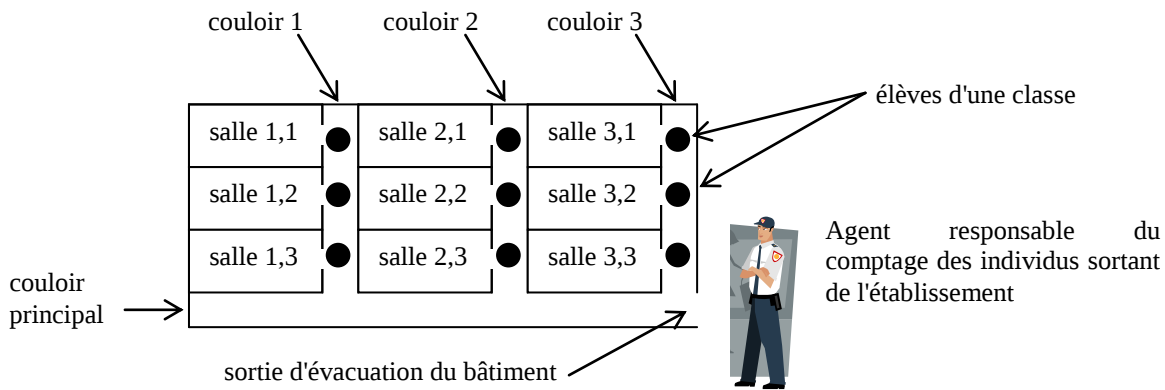
Les électrons et les trous ainsi créés vont être collectés respectivement dans un **puits d'électron** et un **puits de trou**, situés au voisinage immédiat du photosite sensible. **Le nombre d'électrons et de trous créés est proportionnel à la quantité de lumière reçue sur le photosite sensible pendant toute la durée de l'exposition lumineuse.**

À la fin de l'exposition, les charges créées sur un photosite sont transférées de photosite en photosite jusqu'à un registre horizontal (série). Ce registre va collecter de proche en proche les charges créées sur chaque photosite, afin de pouvoir la mesurer, comme le montre la figure suivante:



Les charges circulant dans le circuit représentent un courant électrique. Pour des raisons pratique liées à la mesure, ce courant électrique est converti en une tension électrique. Ainsi, à la sortie du registre horizontal (série), la tension mesurée est proportionnelle au nombre de charges créées sur chaque photosite, lequel est lui-même proportionnel à l'intensité lumineuse reçue par le pixel. Par conséquent, la tension mesurée à la sortie du registre est proportionnelle à l'intensité lumineuse reçue par le pixel.

Tout l'enjeu technologique de la CCD est de pouvoir compter les charges créées sur chaque photosite, indépendamment les uns des autres et dans un temps raisonnable. Pour comprendre le procédé de comptage, procédons à une analogie. Imaginons, comme le montre la figure suivante, un établissement scolaire construit de plein pieds dont les salles sont réparties le long de plusieurs couloirs secondaires eux-mêmes perpendiculaires à un couloir principal au bout duquel se trouve une sortie d'évacuation unique :



Lors d'un exercice d'évacuation un agent est responsable de comptabiliser le nombre d'élève que contient chaque salle de classe.

Le protocole d'évacuation est bien défini, imposé et connu de tous:

1. Les élèves de la classe sortent dans le couloir et restent groupés dans le couloir.
2. On procède à l'évacuation des élèves **dans un ordre bien défini**, couloir par couloir:
 - a. Dans chaque couloir, les élèves des salles 3 de chaque couloir passent dans le couloir principal,
 - b. Dans chaque couloir, les élèves des salles 2 occupent la place des élèves des salles 3, et les élèves des salles 1 occupent la place des élèves des salles 2.
 - c. Les élèves des salles 3 sont redirigés groupe par groupe, les vers la sortie d'évacuation où il sont comptabilisés **dans un ordre bien défini**:
 - i. les élèves du couloir 3 sont comptabilisés en premier,
 - ii. les élèves du couloir 2 sont comptabilisés en second,
 - iii. les élèves du couloir 1 sont comptabilisés en dernier.

Ce protocole d'évacuation permet de connaître à chaque instant le nombre d'élève qui se situe dans une classe donnée, et peut être généralisé à un nombre quelconque de couloirs et de salles.

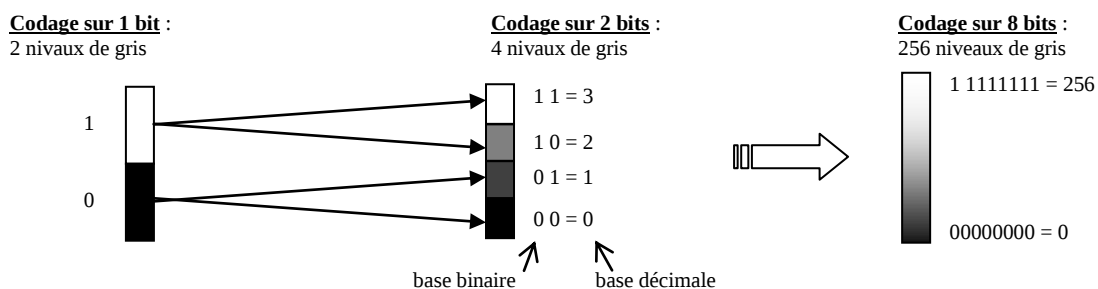
Les charges créées sur chaque photosite sont comptabilisés sensiblement de la même manière en imposant un protocole de transfert bien défini, des photosites vers la sortie du registre. Ce procédé permet ainsi de connaître, après chaque exposition, l'intensité lumineuse reçue par chaque pixel.

1.3 Quantification de l'image numérique

La tension correspondant à chaque pixel qui est proportionnelle à l'intensité lumineuse reçue par le pixel, est enfin « quantifiée », c'est-à-dire enregistrée sur un nombre donné de bit correspondant à un nombre discret et fini de niveaux de gris entre le noir (intensité lumineuse nulle reçue par le pixel) et le blanc (intensité maximale qu'il est possible d'enregistrer sur un pixel).

Comme le montre la figure suivante:

- si chaque pixel est codé sur 1 bit, l'intensité lumineuse enregistrée ne peut prendre que 2 valeurs : le noir (0) ou le blanc (1).
- Si chaque pixel est codé sur 2 bits l'intensité lumineuse enregistrée peut prendre 4 niveaux de gris : le noir (00), le gris foncé(01), le gris clair (10) ou le blanc (11).
- Si chaque pixel est codé sur 8 bits, c'est-à-dire un octet, l'intensité lumineuse enregistrée peut prendre $2^8 = 256$ niveaux de gris. Sur 16 bits, $2^{16} = 65536$ niveaux de gris, etc....



Il est facile de remarquer que plus le nombre de bit utilisé pour coder le niveau de gris d'un pixel est grand, meilleur est la qualité de l'image (car le niveau de gris varie de façon beaucoup plus continu), mais plus importante est la place mémoire prise par l'image. Il convient donc de trouver un compromis entre la qualité de l'image et la taille qu'elle occupe en mémoire.

Les 3 images suivantes illustrent la façon dont le nombre de bit/pixel améliore la qualité visuelle d'une image.

1 bit / pixel :
2 niveaux de gris



2 bits/ pixel :
4 niveaux de gris



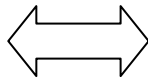
8 bits = 1 octet /pixel :
256 niveaux de gris



Remarque et Définition: Le nombre de bit utilisé pour coder le niveau de gris d'une image est appelé « profondeur de l'image ».

1.4 Représentation matricielle de l'image numérique

De façon courante, le niveau de gris des pixels d'une image numérique est codé **sur un octet** c'est à dire 8 bits. Par conséquent, une image numérique de N lignes et M colonnes, codée sur 8 bits est **un tableau de valeurs** (appelé "matrice") comprises entre 0 (noir) et 255 (le blanc), soit 256 valeurs, de N lignes et M colonnes.



107	39	98			
100	54	87			
35	200				
76	290		...		

Exercice 1: Calculer le poids (en octet) d'une image en niveau de gris issue d'un appareil numérique dont la CCD a pour dimension 1024×768 pixels.

[illegible]

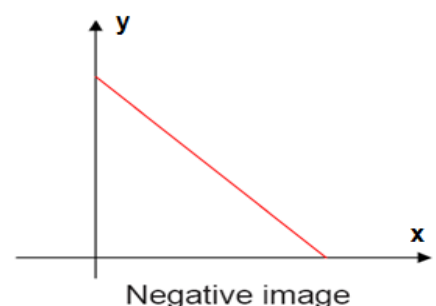
Exercise 2:

1) Ouvrir une image en noir et blanc au format PBM dans un logiciel de traitement d'image (Gimp). Réaliser le négatif de cette image.

2) Techniquement, réaliser le négatif d'une image revient à symétriser le niveau de gris de chaque pixel par rapport à la valeur médiane des niveaux de gris. Par exemple, le noir est transformé en blanc et vice versa. Considérons une image « I » dont le niveau de gris de chaque pixel est codé sur 1 octet. Si « x » est le veau de gris de l'image « I » considérée, et « y » le niveau de gris de la nouvelle image « J » transformée, alors la relation entre y et x est la suivante:

$$\forall x \in \{\text{pixels de l'image } I\}, \quad y = f(x) = 255 - x$$

Il s'agit d'une fonction affine.



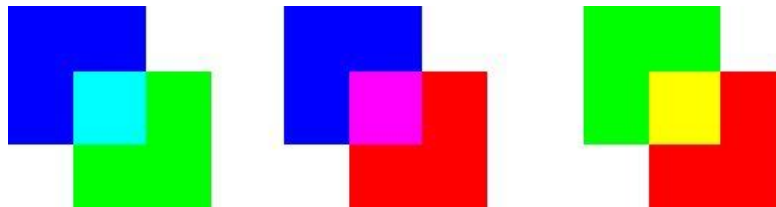
[illegible]

deux ampoules rouge et verte. Ainsi, en mélangeant de la lumière produite par une ampoule rouge et une ampoule verte, on peut donner à l'œil la même sensation que s'il recevait une lumière jaune.

Plus généralement, quelle que soit la lumière qu'il reçoit, notre œil ne communique à notre cerveau qu'une information partielle : l'intensité de la réaction des cônes sensibles au rouge, au vert et au bleu. **Deux lumières qui stimulent ces trois types de cônes de manière identique sont indiscernables pour l'œil.**

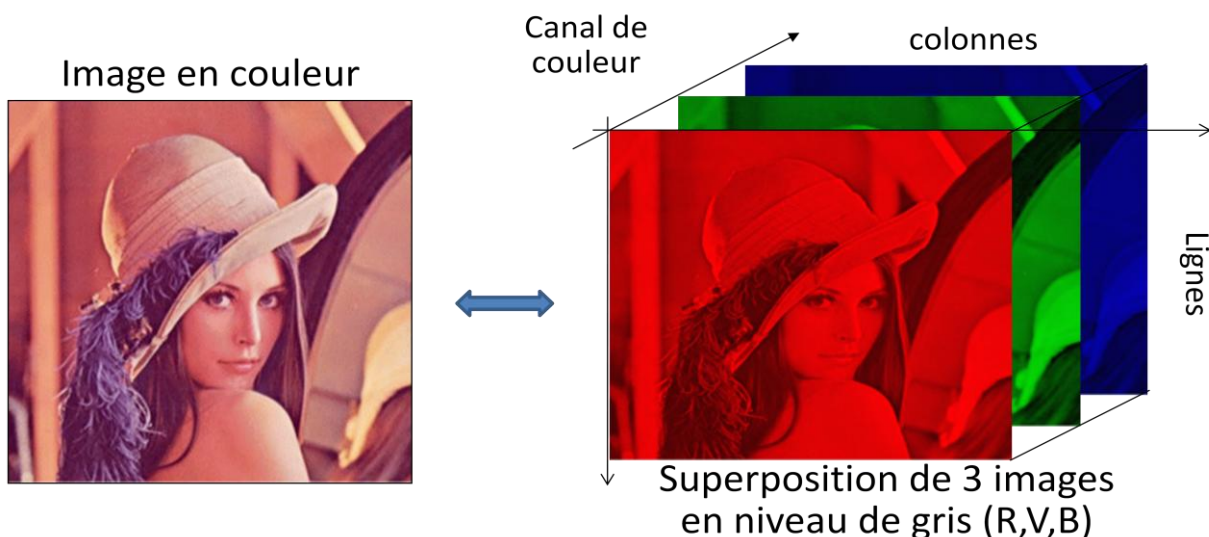
Ainsi, sur l'écran d'un ordinateur, chaque pixel est composé non pas d'une, mais de trois sources de lumière rouge, verte et bleue et en faisant varier l'intensité de chacune de ces sources, on peut simuler n'importe quelle couleur.

Par exemple, comme le montre la figure ci-dessous, en mélangeant de la lumière verte et de la lumière bleue on obtient de la lumière cyan. En mélangeant de la lumière rouge et de la lumière bleue on obtient de la lumière magenta. Et en mélangeant de la lumière rouge et de la lumière verte on obtient de la lumière jaune. « Cyan » est le nom savant d'un bleu clair tirant un peu sur le vert et « magenta » celui d'un rouge tirant un peu sur le violet.



2.2 Représentation d'une image en couleur

La perception prépondérante des cellules de l'œil humain (cônes) aux couleurs rouge, verte et bleu permet de représenter une image en couleur comme une superposition de trois images en niveaux de gris dans les couleurs rouge, verte et bleu.



Par conséquent, une image en couleur (notée I), de taille $N \times M$ pixels, peut mathématiquement se représenter comme un tableau à trois entrées $I(i,j,k)$, dans lequel :

- i est l'indice associé aux lignes, avec $0 \leq i < N$,
- j est l'indice associé aux colonnes, avec $0 \leq j < M$,
- k est l'indice associé au canal de couleur, avec $0 \leq k < 3$:
 - $k=0$ représente le canal rouge,
 - $k=1$ représente le canal vert,
 - $k=2$ représente le canal bleu.

Remarque: Un tableau à 3 entrées se définit mathématiquement comme un **tenseur d'ordre 3**.

2.3 Poids d'une image en couleur

Généralement, dans une image en couleur, comme pour les images en niveaux de gris, l'intensité des pixels de chaque canal de couleurs est codé sur un octet.

Exercice:

1) Sur l'image en couleur, combien d'octet attribue-on à chaque pixel ?

.....

.....

.....

.....

2) Calculer le poids (en octet) d'une image en couleur issue d'un appareil numérique dont la CCD a pour dimension 1024×768 pixels.

.....

.....

.....

.....

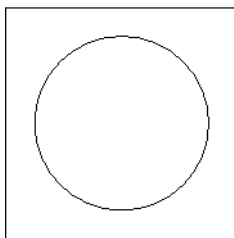
.....

.....

III. Quelques formats d'images numériques

3.1 Représentation vectorielle des images

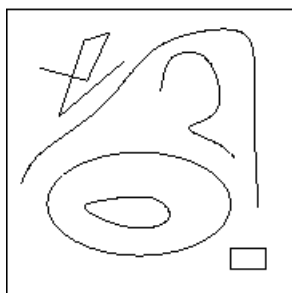
Considérons l'image suivante:



Pour définir cette image, une possibilité est de la décrire par son contenu: elle est constituée d'un cercle dont le centre est le centre de l'image et dont le rayon est par exemple de 30 pixels. La donnée du centre et du rayon du cercle permet à quiconque de redessiner à l'identique cette image. On peut donc représenter cette image par trois nombres : deux pour les coordonnées du centre et un pour le rayon. Pour une image formée de plusieurs cercles, on pourrait, de même, indiquer trois, nombres pour chacun d'eux.

On peut représenter d'une manière similaire un dessin formé de cercles et de rectangles, en représentant chaque figure par une lettre, « c » pour un cercle, « r » pour un rectangle, suivi d'une suite de nombres qui définissent les paramètres de la figure.

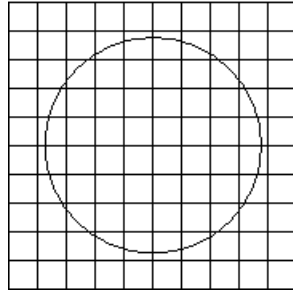
On parle alors de **représentation symbolique**, ou de **représentation vectorielle**, d'une image. Cette méthode de codage des images a l'avantage d'être très efficace en terme de compression. En revanche, elle est moins pratique pour représenter l'image suivante:



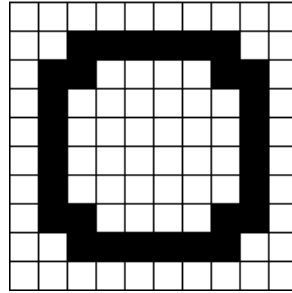
En effet, elle n'est pas constitué de formes simples facilement descriptibles par un nombre limités de paramètres.

3.2 Représentation par pixels des images

Une autre méthode, qui peut être utilisée pour n'importe quelle image, consiste à superposer dans un premier temps un quadrillage à l'image initiale:



Chacune des cases de ce quadrillage s'appelle **un pixel** (picture element). On noircit ensuite les pixels qui contiennent une portion de trait:



Enfin il suffit d'indiquer la couleur de chacun des pixels, en les lisant par exemple de gauche à droite et de haut en bas, comme un texte. Ce dessin se décrit donc par une suite de mots « blanc » ou « noir ». Comme seuls les mots "noir" ou "blanc" sont utilisés, on peut être plus économe et remplacer chacun de ces mots par un bit, par exemple 1 pour "noir" et 0 pour "blanc".

Exercice:

1) Donner la représentation matricielle binaire de l'image en noir et blanc.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

2) En déduire le « mot binaire » correspondant à l'image en précisant son nombre de caractères.

.....

.....

.....

.....

.....

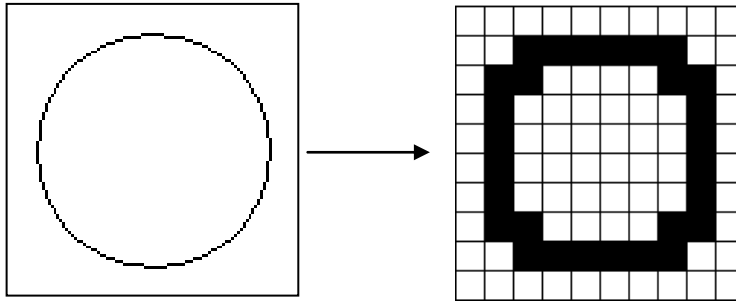
3) Quel est ici la profondeur de l'image ?

.....

.....

Résolution de l'image:

1) Pourquoi la forme circulaire initiale n'est-elle pas bien représentée ?



2) Comment remédier à l'effet de pixellisation?

Définition:

La représentation d'une image sous la forme d'une suite de pixels chacun codés sur un bit, s'appelle une **bitmap**. Il s'agit d'une méthode approximative, mais universelle car elle permet de décrire n'importe quelle image en noir et blanc.

3.3 Notion de format

L'ensemble des données numérique est stocké en mémoire sous la forme de **fichier** qui est caractérisé par un **nom** qui constitue l'adresse à laquelle l'ordinateur doit lire le contenu du fichier.

Il est nécessaire de rajouter une **extension** au nom du fichier précédé d'un point pour préciser la nature du contenu du fichier. Dans le cas d'une image, on rajoute par exemple l'extension ".pbm" pour signifier que le contenu du fichier est une image au format PBM (Portable BitMap). Il existe aussi les formats PGM, PPM, PNG, JPEG, GIF, PS, PICT, TIF, etc.

3.4 Image en noir et blanc: format PBM

Le format PBM est l'un des plus simples pour exprimer des images bitmap (en noir et blanc). Un fichier au format PBM est écrit en caractères ASCII et vérifie systématiquement l'architecture suivante:

- Le début du fichier se note par les caractères "**P1**", suivi d'un **retour à la ligne** ou d'un **espace**
- on écrit ensuite la largeur de l'image **en base 10**, suivi d'un retour à la ligne ou d'un espace,
- et la hauteur de l'image **en base 10**, suivi d'un retour à la ligne ou d'un espace.
- On écrit enfin la liste des pixels codés sur (0 ou 1) ligne par ligne, de haut en bas et de gauche à droite sans prendre en compte les retours à la lignes et les espaces.
- Aucune ligne ne doit dépasser 70 caractères et toutes les lignes commençant par le caractère # sont des commentaires.

Exemple: L'image numérique du cercle se représente au format PBM par le fichier "cercle.pbm" suivant:

```
P1 # Mon premier fichier PBM : le cercle
10 10 #taille de l'image
0000000000 # ligne 1
0011111100
0110000110
0100000010
0100000010
0100000010
0100000010
0110000110
0011111100
0000000000 # ligne 10
```

Remarque: La norme ASCII (on prononce phonétiquement "aski") établit une correspondance entre une représentation binaire des caractères de l'alphabet latin et les symboles, les signes, qui constituent cet alphabet. Par exemple, le caractère "a" est associé à "01100001" et "A" à "01000001".

3.5 Image en niveau de gris: format PGM

Le format PGM est l'un des plus simples pour exprimer des images en niveaux de gris. On code généralement l'intensité du niveau de gris sur un octet, ce qui autorise 256 niveaux entre le noir (0) et le blanc (255). Un fichier au format PGM est très similaire à un fichier au format PBM. Il est écrit en caractères ASCII et vérifie systématiquement l'architecture suivante:

- Le début du fichier se note par les caractères "**P2**", suivi d'un retour à la ligne ou d'un espace.
- On écrit ensuite **la largeur** de l'image **en base 10**, suivi d'un retour à la ligne ou d'un espace,
- et **la hauteur** de l'image **en base 10**, suivi d'un retour à la ligne ou d'un espace.
- la **valeur maximale pour exprimer les niveaux de gris**, suivi d'un retour à la ligne ou d'un espace. Si chaque pixel est codé sur un octet, cette valeur est à 255 et correspond au blanc.
- On écrit enfin la liste des pixels (entre 0 et 255) ligne par ligne, de haut en bas et de gauche à droite sans prendre en compte les retours à la lignes et les espaces.
- Aucune ligne ne doit dépasser 70 caractères et toutes les lignes commençant par le caractère # sont des commentaires.

3.6 Image en couleurs: format PPM

Une image en couleur est une superposition de 3 images en niveaux de gris dans les trois teintes rouge, verte et bleu. Chaque pixel de l'image ayant une couleur perçue particulière correspond à la superposition des trois couleurs rouges vertes et bleu avec des intensités différentes. En général, le niveau de gris dans une couleur particulière est codé sur 1 octet, ce qui autorise 256 niveaux variant entre le noir (0) et le rouge/vert/bleu pur intense (255). Chaque pixel de l'image est donc associé à 3 nombre compris entre 0 et 255.

Un format, parmi d'autres, pour exprimer ces images est le format PPM (portable pixmap). Un fichier au format PPM, ressemble beaucoup à un fichier au format PBM ou PGM, c'est un fichier ASCII qui se compose comme suit:

- les caractères P3, suivis d'un retour à la ligne ou d'un espace,
- la largeur de l'image, suivie d'un retour à la ligne ou d'un espace,
- la hauteur de l'image, suivie d'un retour à la ligne ou d'un espace,
- la valeur maximale utilisée pour exprimer l'intensité des couleurs, Si chaque pixel est codé sur un octet, cette valeur est à 255.
- la liste des valeurs des couleurs, trois par pixel, dans l'ordre rouge, vert, bleu, ligne par ligne, de haut en bas et de gauche à droite, séparés par des retours à la ligne ou des espaces.
- Comme en PBM et en PGM, aucune ligne ne doit dépasser 70 caractères et toutes les lignes commençant par le caractère # sont ignorées.

Exemple: En mélangeant du rouge et du vert en quantités égales, on obtient du jaune en augmentant la quantité de rouge, par exemple, rouge = 237, vert = 127, bleu = 16, on obtient du orange. On peut alors écrire un fichier PPM qui représente un carré orange de 100 pixels sur 100 pixels.

```
P3
# Mon premier fichier PPM : orange
100 100
255
237 127 16
237 127 16
237 127 16
237 127 16
...
```

Exercise:

1. Lequel des formats PBM, PGM et PPM est adapté pour représenter un carré noir de 10 pixels sur 10 pixels ?
2. Même question pour un carré rouge de même taille.
3. Comparer les taille des fichiers obtenus.

This image shows a full page of white paper with horizontal dotted lines. The lines are evenly spaced and run across the width of the page, providing a guide for handwriting practice. There are no margins, text, or other markings on the page.