

AGIR : DEFIS DU XXIème SIECLE

Transmettre et stocker de l'information

Notions et contenus	Compétences exigibles
Images numériques Caractéristiques d'une image numérique : pixellisation, codage RVB et niveaux de gris.	Associer un tableau de nombres à une image numérique. <i>Mettre en œuvre un protocole expérimental utilisant un capteur (caméra ou appareil photo numériques par exemple) pour étudier un phénomène optique.</i>

I. Introduction

Ce document a été réalisé avec le double objectif de présenter les caractéristiques principales d'une image numérique et de montrer les moyens techniques disponibles permettant de mettre en évidence, pour nos élèves, le caractère matriciel d'une image numérique.

Il est conseillé d'aborder le document dans son intégralité, cependant le lecteur désireux d'acquérir rapidement des notions de base pourra se contenter de la **partie 1 : Caractéristiques d'une image numérique**.

Une image numérique correspond à un tableau de nombres, le stockage des informations nécessite le choix d'un format d'enregistrement numérique. Les formats BMP, JPEG et RAW seront présentés dans la **partie 2 : Le stockage d'une image numérique**.

La **partie 3 : Image numérique et tableau de nombres** constitue la boîte à outils de l'enseignant désireux de faire acquérir à ses élèves la notion d'équivalence entre tableau de nombre et image numérique. Dans cette boîte à outils, l'auteur conseille vivement l'utilisation du logiciel gratuit ImLab.

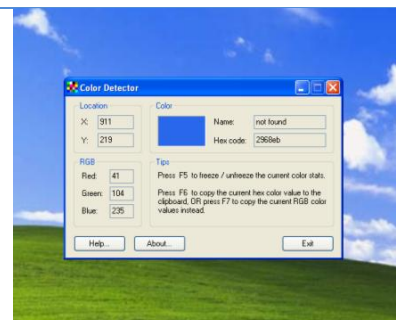
Pour terminer, la **partie 4 : Autofocus d'un appareil photographique numérique** présente une activité réalisée en classe permettant de mettre en évidence expérimentalement l'association image numérique et tableau de nombres puis ces conséquences c'est-à-dire la possibilité de faire des calculs avec les nombres de ce tableau.

II. Caractéristiques d'une image numérique

Le balayage de l'écran de l'ordinateur avec la souris après le lancement du programme (gratuit) ColorDetector permet de mettre en évidence deux caractéristiques d'une image numérique.

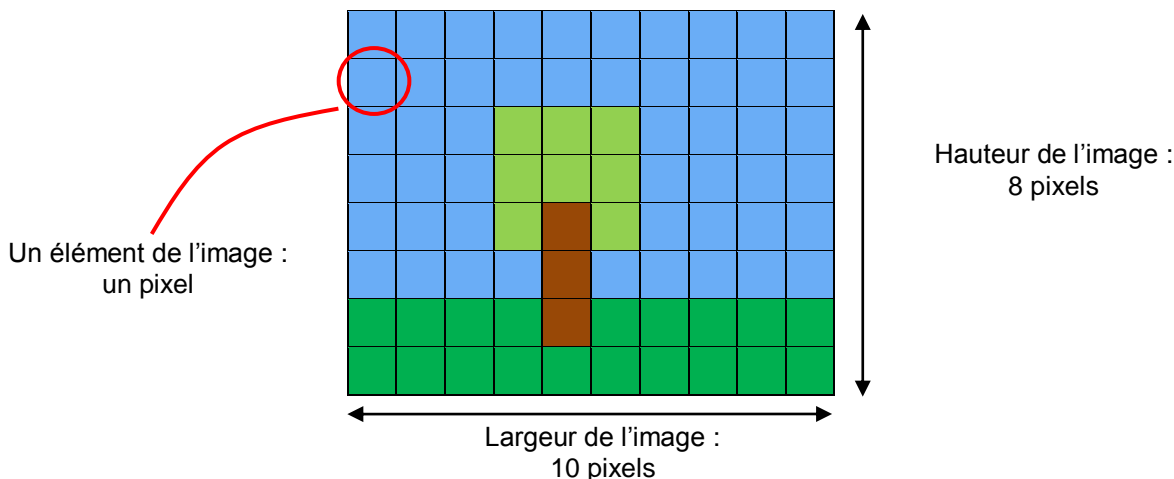
L'image est constituée de points d'image : les pixels (PICTure ELEments en anglais) et chacun d'entre eux possède un codage en couleurs primaires RVB.

Le logiciel ColorDetector est téléchargeable à l'adresse :
<http://www.cosmin.com/colordetector/>



A. Tableau de pixels

Une image numérique est donc constituée d'un ensemble de points appelés **pixels**. L'ensemble de ces pixels est contenu dans un tableau à deux dimensions constituant l'image.



Les deux dimensions donnent la taille de l'image (sa définition) : 1280×1024 pixels pour l'écran d'un PC par exemple.

B. Codage des couleurs

Sur l'écran d'un ordinateur, chaque pixel est constitué d'un sous-pixel Rouge, d'un autre Bleu et d'un dernier Vert. Ces trois sous-pixels permettront par synthèse additive de reconstituer des nuances colorées.

Le logiciel ColorDetector permet de connaître la « quantité de lumière » affectée pour les sous-pixels Rouge, Vert ou Bleu. Les valeurs possibles observées vont de 0 à 255 : chaque composante est codée sur 8 bits c'est-à-dire un octet.

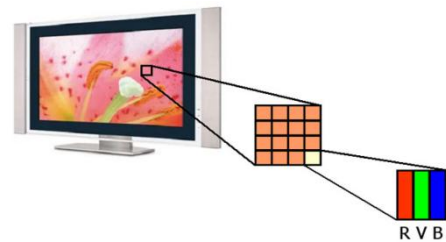


Image d'après <http://fcali.edu.co/archives/1218>

C. Résolution

La résolution d'une image est le nombre de pixels contenus dans une dimension précise (en pouce). Elle est exprimée en pixels par pouce (PPP). Un pouce mesure 2,54 cm.

La résolution permet d'établir le rapport entre la définition en pixels d'une image et la dimension réelle de sa représentation sur un support physique (écran, papier...).

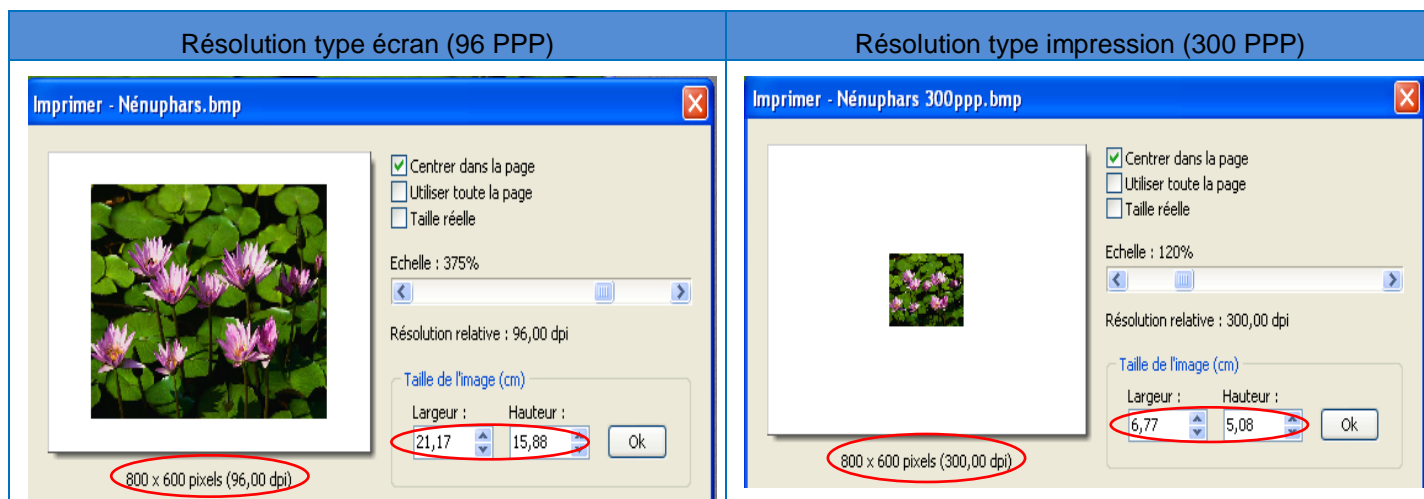
Résolution = 5 pixels par pouce	Résolution = 10 pixels par pouce
<p>5,08 cm</p>	<p>2,54 cm</p>

Le pouvoir séparateur de l'œil étant de l'ordre de 1 minute d'angle, la distance séparant deux pixels consécutifs d'une image doit être inférieure à 0,087 mm (pour une distance d'observation de 30 à 50 cm). La résolution d'une photographie doit donc être d'au moins 300 PPP.

Nous pouvons en déduire un tableau de correspondance entre la taille de la photographie imprimée et celle de l'image d'origine en pixels :

Résolution (PPP)	Taille de la photo		Taille de l'image	
	(cm×cm)	Taille réelle (mm×mm)	(Méga pixels)	H x L (pixels)
300	10x13	101 x 133	1,92	1200 x 1600
	11x15	114 x 150	2,43	1350 x 1800
	13x17	127 x 169	3	1500 x 2000
	20x27	203 x 270	7,7	2400 x 3200
	30x40	305 x 406	17,3	3600 x 4800

Un aperçu avant impression dans le logiciel « Photofiltre » (<http://photofiltre.free.fr/frames.htm>) permet d'observer l'influence de la résolution sur la taille de l'image imprimée.



Avec une résolution trois fois plus grande, la taille de l'image imprimée est trois fois plus petite.

On notera une notation anglaise en dpi (dot per inch) qui signifie points par pouce. Cette notation n'est en réalité pas appropriée pour définir la résolution de l'image (en pixels par pouce rappelons-le) mais plutôt pour qualifier la qualité de l'imprimante utilisée. Avec une résolution d'imprimante de 1200 dpi × 1200 dpi et une image en 300 PPP × 300 PPP, chaque pixel sera réalisé à partir de 16 petits points d'impression.

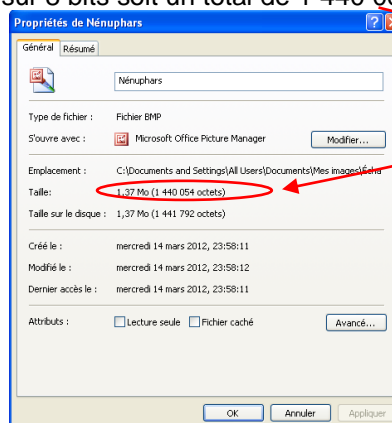
III. Le stockage d'une image numérique

Un des avantages des images numériques est que leur stockage sur support numérique (Clé USB, Disque dur, carte mémoire...) permet leur copie à l'identique sans modification ni détérioration. Il existe de nombreux formats d'enregistrement numériques (BMP, TIFF, RAW, JPEG, GIF, PNG...), nous n'évoquerons ici que les trois principaux.

A. Le format bitmap BMP

Le format bitmap (de l'anglais bit map : tableau de données binaires) est un simple enregistrement des données numériques du tableau de pixels en démarrant par le pixel en bas à gauche de l'image.

Par exemple, pour une image couleur de 800×600 pixels, le fichier correspondant occupera 800×600×3 octets puisque chaque composante RVB d'un pixel est codée sur 8 bits soit un total de 1 440 000 octets.

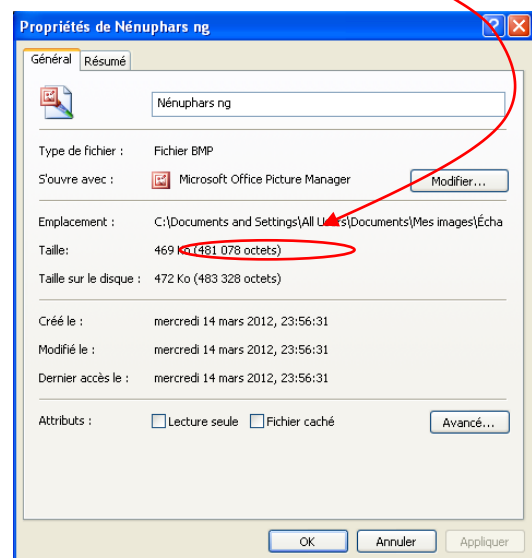


Le fichier numérique comporte 54 octets supplémentaires, rajoutés en début du tableau de données, nécessaires pour préciser les caractéristiques du fichier et de l'image.

		Nb d'octets	Commentaire
Entête du fichier	Signature du fichier	2	Indique qu'il s'agit d'un fichier BMP : un tableau de nombres
	La taille du fichier	4	
	Champ réservé	4	
	L'offset de l'image	4	Indique où se trouvent les données de l'image à partir du début du fichier
Entête de l'image	La taille de l'entête de l'image	4	
	Largeur de l'image	4	Indique le nombre de pixels horizontalement

	Hauteur de l'image	4	Indique le nombre de pixels verticalement
	Nombre de plans	2	Toujours à 01
	Profondeur de codage de la couleur	2	Indique le nombre de bits utilisés pour coder la couleur
	Méthode de compression	4	0000 lorsque l'image n'est pas compressée
	Taille de l'image	4	Taille de l'image en octets
	Résolution horizontale	4	nombre de pixels par mètre horizontalement
	Résolution verticale	4	nombre de pixels par mètre verticalement
	Nombre de couleurs de la palette	4	0000 pour une image couleurs
	Nombre de couleurs importantes de la palette	4	0000 (pas de palette)
Total		54	octets

Dans le cas d'une image en niveaux de gris, l'information couleur est inutile et seule l'intensité lumineuse est nécessaire. Elle est codée sur 8 bits : 256 niveaux de gris différents. Si l'on considère la même image de 800×600 pixels mais en niveaux de gris, le fichier correspondant occupera donc 800×600×1 octets soit un total de 480 000 octets.



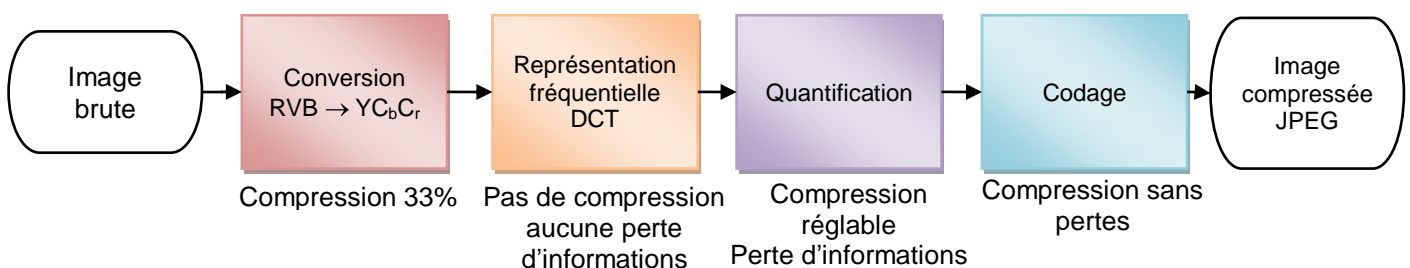
Le fichier numérique comporte 54 + 1024 octets supplémentaires.

Ces 1024 octets constituent la palette de l'image. Ils sont nécessaires pour indiquer la correspondance entre les 256 niveaux de gris possibles et la valeur des composantes RVB à afficher graphiquement (pour chaque niveau de gris, il faut trois octets [un pour chaque composante RVB] plus un réservé). On obtient bien $256 \times 4 = 1024$ octets.

B. Le format jpeg JPG

JPEG est l'acronyme de Joint Photographic Experts Group, il s'agit d'un groupe d'experts qui édite des normes de compression pour l'image fixe.





JPEG est un format de compression avec perte, c'est le format le plus utilisé aujourd'hui. Le processus de compression JPEG peut être découpé en quatre étapes principales :



Le choix du taux de compression par l'utilisateur modifie l'étape de quantification. Plus le taux de compression choisi est élevé et plus la quantification entraîne de pertes d'informations. Les quatre étapes sont détaillées dans les paragraphes suivants.

1) Le système colorimétrique

Le système visuel humain étant beaucoup plus sensible aux variations de luminosité que de couleur, le codage RVB n'est pas adapté pour rendre compte de nos facultés physiologiques plus proches d'un système luminance/chrominance du type $YCbCr$. Ce système (voir tableau ci-dessous) est constitué d'un signal de luminance Y (niveau de gris), plus deux informations de chrominance, C_b (le bleu moins Y) et C_r (le rouge moins Y).

 Image RVB		Composante Y
		Composante C_b
		Composante C_r

Le système $YCbCr$ est utilisé pour les images JPEG. Ce modèle colorimétrique permet de réduire la taille d'une image. L'œil humain étant plus sensible à la luminance qu'à la chrominance, il est possible de dégrader la chrominance d'une image tout en gardant une bonne qualité de l'image. Ainsi, un pixel de la composante Y reste codé sur 8 bits alors que pour les composantes C_b et C_r , 8 bits permettront de coder deux pixels.

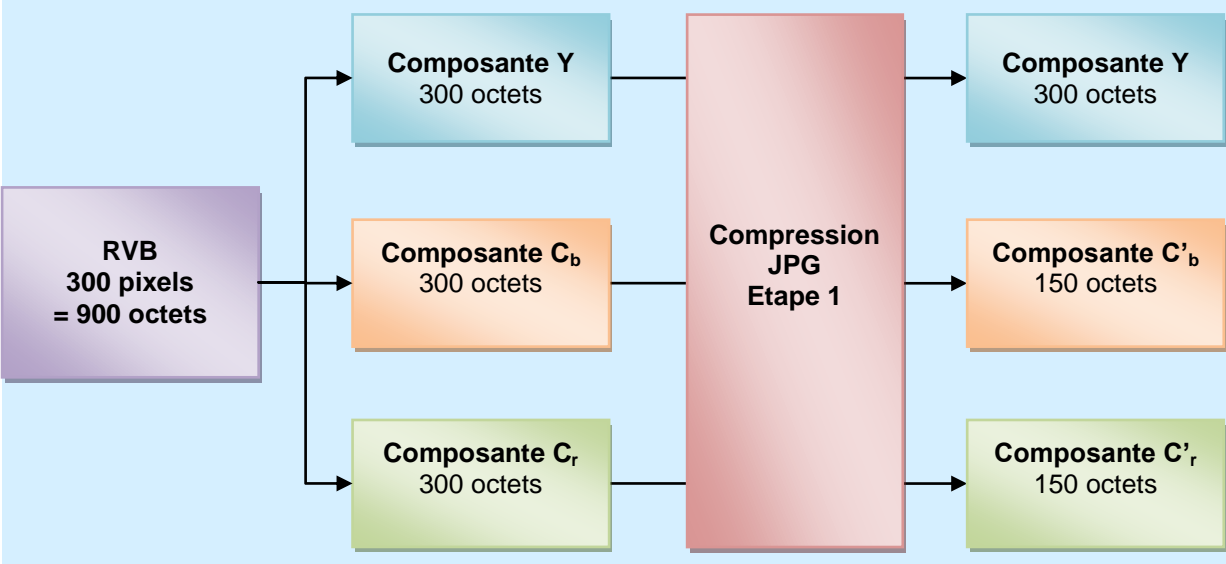
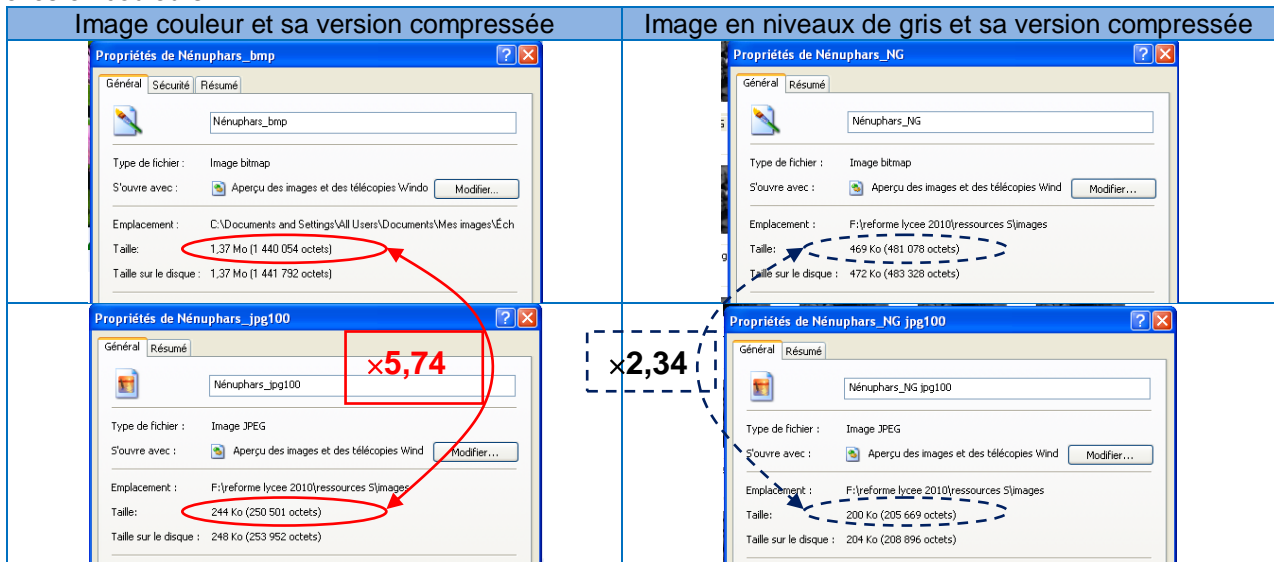


Figure 1 : exemple d'une image couleur de 300 pixels qui n'occupe plus que 600 octets avec le système $YCbCr$

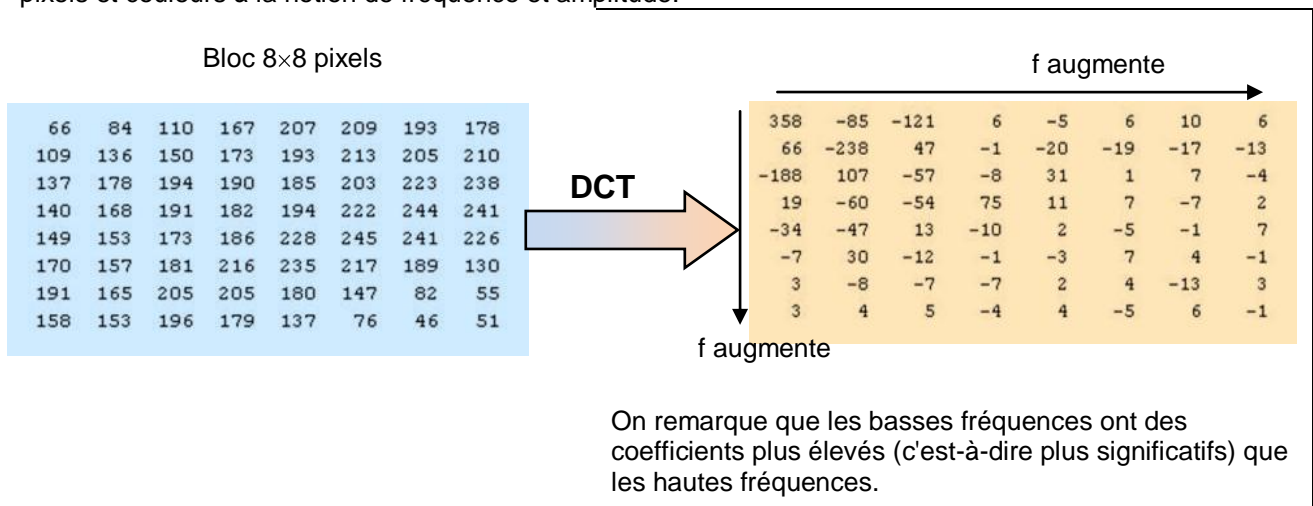
Les performances de compression sont donc moins importantes pour les images en niveaux de gris que pour celles en couleurs.



2) Analyse fréquentielle

L'image de départ est découpée en sous-blocs carrés de 8×8 pixels pour réduire le temps et la complexité des calculs. En effet un calcul de DCT (Discrete Cosine Transform) ou bien transformée en cosinus discrète en français va être appliqué sur chaque bloc.

La DCT est une variante de la transformée de Fourier. Elle prend un ensemble de points d'un domaine spatial et les transforme en une représentation équivalente dans le domaine fréquentiel. On passe ainsi de la notion de pixels et couleurs à la notion de fréquence et amplitude.

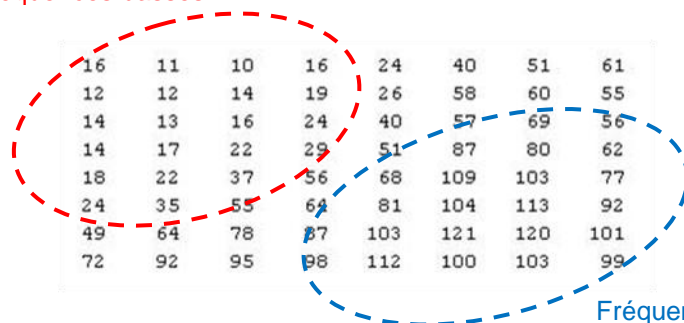


3) Quantification

Pour diminuer la taille du fichier image, la compression JPEG va enlever des détails en supprimant les hautes fréquences (souvent peu significatives comme on l'a vu précédemment). C'est donc cette étape qui entraîne le plus de gain de place mais au prix d'une perte d'informations.

Chaque bloc de 8×8 pixels est transformé après calcul de sa DCT en une matrice de 8×8 . La quantification consiste à diviser cette matrice par une matrice de quantification qui contient 8×8 coefficients (voir ci-contre). L'objectif étant d'atténuer les hautes fréquences, les coefficients les plus faibles seront réservés aux basses fréquences.

Fréquences basses



Les coefficients de cette matrice sont modifiables par l'utilisateur au travers du choix du taux de compression.

Le résultat de l'opération donne la matrice quantifiée (voir ci-dessous) qui comporte beaucoup de coefficients à 0 (surtout dans les hautes fréquences).

358	-85	-121	6	-5	6	10	6
66	-238	47	-1	-20	-19	-17	-13
-188	107	-57	-8	31	1	7	-4
19	-60	-54	75	11	7	-7	2
-34	-47	13	-10	2	-5	-1	7
-7	30	-12	-1	-3	7	4	-1
3	-8	-7	-7	2	4	-13	3
3	4	5	-4	4	-5	6	-1

/

16	11	10	16	24	40	51	61
12	12	14	19	26	58	60	55
14	13	16	24	40	57	69	56
14	17	22	29	51	87	80	62
18	22	37	56	68	109	103	77
24	35	55	64	81	104	113	92
49	64	78	87	103	121	120	101
72	92	95	98	112	100	103	99

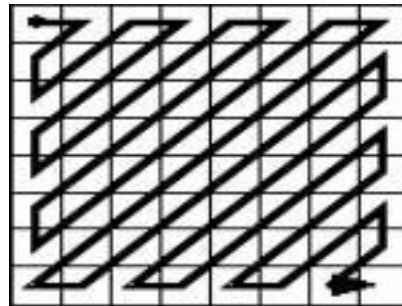
=

22	-7	-12	0	0	0	0	0
5	-19	3	0	0	0	0	0
-13	8	-3	0	0	0	0	0
1	-3	-2	2	0	0	0	0
-1	-2	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0

Matrice fréquentielle
Matrice de quantification
Matrice quantifiée

4) Codage

Pour regrouper les coefficients relatifs aux basses fréquences (les seuls différents de 0), la matrice quantifiée est codée par une lecture en zigzag. Pour les hautes fréquences (coefficients tous à 0), il suffira de remplacer la longue suite de 0 par un codage de type RLE (une suite de vingt 0 sera codée 20 0)



Les coefficients affectés aux basses fréquences sont petits et ne nécessitent pas un codage numérique sur 8 bits. Un codage de Huffman permet alors de réduire encore la quantité de données.

5) Pour en savoir plus

http://www.iut-arles.univ-provence.fr/thon/LP/IN_recode/LP - IN RepCod - Chapitre 2.pdf

<http://www.imagenumerique.50webs.com/plan.html>

<http://sebsauvage.net/comprendre/jpeg/index.html>

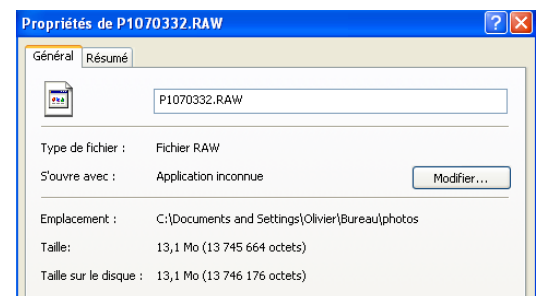
C. Le format brut RAW

Ce format peu connu du grand public est de plus en plus utilisé par les professionnels de la photographie.

Le format RAW est un format de fichier qui enregistre, sans aucun traitement, les données brutes acquises par le capteur ainsi que les valeurs des paramètres d'optimisation du boîtier (balance des blancs, accentuation, saturation, vitesse, diaphragme, etc...).

Ce n'est malheureusement pas un format standard. Chaque fabricant d'appareil photo possède son propre format propriétaire : .CR2 pour Canon, .NEF pour Nikon, .SR2 pour Sony, etc... Aucune documentation technique n'est accessible pour connaître le type de structure du fichier.

Le fichier P1070332.RAW contient 13 745 664 octets pour un capteur de 8 320 000 pixels (voir extrait de la documentation technique de l'appareil à l'Annexe 1).



Nous avons vu qu'une image numérique est constituée de points d'image : les pixels codés en couleurs primaires RVB sur 3 fois 8 bits. Nous observons alors dans le tableau ci-dessous une incohérence pour le fichier RAW testé :

Nombre de pixels du capteur	Nombre de bits/pixel	Nombre d'octets/pixel	Taille du fichier en octets
8 320 000	24	3	24 960 000
Taille du fichier RAW			13 745 664

Chaque élément d'image du capteur de l'appareil n'est pas codé sur 24 bits mais sur un nombre de bits bien inférieur. Dans le tableau ci-dessous, nous cherchons à établir le codage qui a été choisi pour en conclure que la seule solution valide est de 12 bits/pixel.

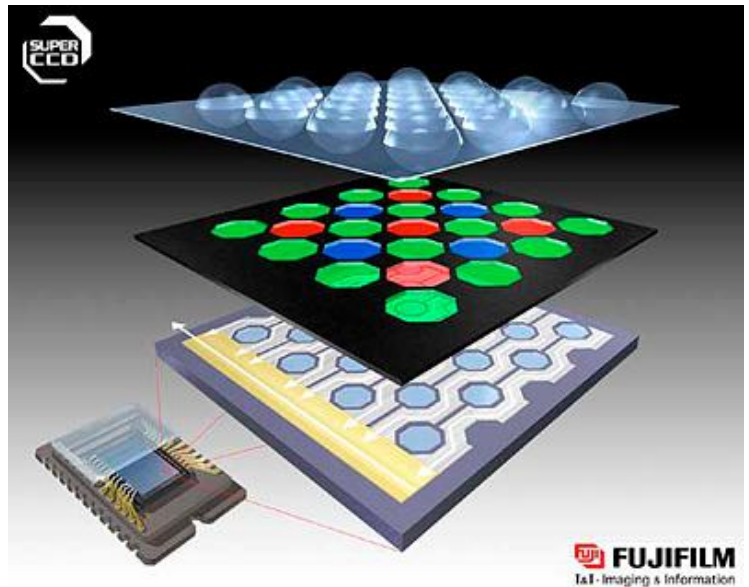
Nombre de pixels du capteur	Nombre de bits/pixel	Taille du fichier en octets
8 320 000	8	8 320 000
	10	10 400 000
	12	12 480 000
	14	14 560 000
	16	16 640 000
Taille du fichier RAW		13 745 664

Comment expliquer l'engouement des professionnels pour ce format si le nombre de bits alloués à chaque pixel est si faible ?

La documentation technique de l'appareil (voir Annexe 1) indique l'utilisation d'un filtre couleurs primaires. Nous voyons ici l'exemple d'un capteur de chez Fuji avec des photosites de forme hexagonale et leur filtre de couleurs primaires associés.

Chaque photosite ne transmet donc qu'une seule information soit Rouge soit Vert soit Bleu mais elle est codée sur 12 bits. Ce qui donne 4096 nuances de rouge possibles au lieu de 256 avec le codage 8 bits.

Un photosite sensible au rouge ne possède donc aucune information pour le vert et le bleu. Un traitement supplémentaire est donc nécessaire : les deux autres couleurs primaires s'obtiennent par interpolation. Le « vert » d'un photosite sensible uniquement au rouge est calculé à partir de l'information verte des photosites adjacents.



Le format RAW permet donc de coder 4096 nuances d'une couleur primaire au lieu de 256 nuances possibles avec le format JPG.

Pour de plus amples informations sur la méthode d'interpolation :

http://www.photoactivity.com/Pagine/Articoli/005DCRaw/DCRaw_fr.asp

IV. Image numérique et tableau de nombre

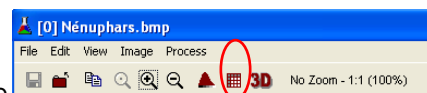
Dans cette partie, nous proposons une activité permettant de mettre en évidence le caractère matriciel d'une image numérique.

Plusieurs méthodes sont proposées :

A. Utilisation du logiciel ImLab

D'une simplicité absolue, cette solution est conseillée. Pour le télécharger <http://imlab.sourceforge.net/> (gratuit).

Après avoir ouvert le fichier image, choisir la vue matricielle



Image

Vue matricielle

	437	438	439	440	441	442	443	444	445	446	447	448	449	450	451	452	453	454	455	456	457
458	80131.4	81131.6	82132.7	84134.9	80130.7	76126.3	75125.2	77127.6	77127.6	76126.5	74124.3	82132.7	84134.9	84134.9	82132.7	77127.4	76125.5	75125.2	77127.6	75125.4	75125.4
459	81132.5	82132.7	82132.7	86136.11	81132.9	78128.5	76126.5	75125.4	75125.4	73123.2	71121.0	78128.3	80130.5	80130.5	74124.1	72122.0	72122.0	74124.1	74123.3	73123.2	73123.4
462	81131.6	82132.7	82132.7	85135.12	83133.10	81131.8	79129.8	77127.6	76126.5	74124.3	73123.2	77127.2	78128.3	79129.4	77127.4	73123.0	71121.0	72122.1	74124.3	71121.0	71121.0
461	80130.5	80130.5	80130.7	82132.9	82132.9	80133.12	82132.11	81131.10	80130.9	79128.10	78128.10	77127.2	79129.6	80130.7	77128.5	75125.2	73123.0	74124.3	76126.5	70119.1	70119.1
460	79129.4	78128.5	77127.4	77127.4	80130.9	82132.11	83133.12	82131.13	81130.12	82131.13	83132.14	77127.4	79129.6	80130.7	78128.5	75125.2	74124.3	75125.4	77126.8	70119.1	70119.1
449	77127.4	75125.2	73123.0	73127.4	76127.6	80130.9	81130.12	79128.10	78127.9	79128.10	80129.11	77125.7	77127.4	78128.5	77127.6	74124.3	73123.2	74124.3	76126.5	71120.2	70119.1
466	76126.3	73123.0	71121.0	71121.0	75125.4	79128.10	79128.10	76125.7	74123.6	75124.7	76125.8	73123.2	75125.4	76126.5	75125.4	72122.1	71121.0	73123.4	72122.4	72121.4	71121.0
447	79129.6	75125.4	72122.1	72122.1	83132.14	87137.16	84133.15	76125.8	71120.3	73123.3	74123.6	76126.5	74123.3	72121.1	72110.1	70119.1	71120.2	73123.5	73122.5	76117.0	72121.4
446	83133.12	81131.10	79129.8	82131.13	83132.14	86137.19	83132.15	74123.6	68117.0	68117.0	71120.3	76126.5	74123.3	72121.1	70119.1	69118.0	69118.0	70119.2	71120.3	68113.0	68113.3
445	85135.14	85135.14	85134.16	81130.12	83132.14	84133.16	79113.11	72121.4	68117.2	70119.4	73122.7	75124.6	74123.3	72121.1	69118.0	69118.0	69118.0	70119.2	70119.1	68113.0	68113.3
444	84132.11	83132.14	84132.15	75124.6	76125.7	77125.9	74123.6	71120.3	75124.9	79128.13	74123.6	73123.4	72121.3	70119.1	69118.0	69118.0	69118.0	70119.2	70119.1	68113.0	68113.3
443	74123.5	74125.7	77123.6	73126.5	74124.7	73126.5	72121.6	70118.4	71120.5	75124.9	75124.9	72121.3	72121.3	71120.3	70119.2	68117.0	67116.1	67116.1	69118.0	69118.0	69118.3
442	68117.0	70119.1	72121.4	72125.9	75125.9	76126.8	73121.6	70118.4	68117.2	68116.4	66114.2	69111.0	71120.2	72121.4	72121.4	71120.3	70119.2	68117.0	68117.2	68116.4	67116.5
441	67126.0	69118.0	71120.3	73124.7	75124.7	74123.8	72121.6	70118.4	68116.4	65113.1	64112.0	69111.0	70119.2	72121.4	72121.4	73123.4	74123.6	73122.7	72121.6	71120.5	69118.3
440	68117.0	71120.2	73122.5	73129.2	70119.4	71120.5	72121.6	72121.6	70118.6	66114.2	66114.2	67116.0	69111.0	71120.3	71121.4	72121.4	73123.4	75124.9	74123.8	73122.7	68116.4
439	66119.3	64117.1	63116.0	65118.2	63119.4	62120.4	68112.5	69122.6	70123.7	69122.6	69122.6	76126.31	68110.5	68121.16	68121.14	81151.0	83127.16	67125.4	63131.0	62120.9	62120.9
438	66116.1	65115.0	65115.0	65120.5	69111.4	69118.3	67117.2	68118.3	70120.5	72122.7	73123.8	77121.41	68131.9	81194.25	85195.26	86110.32	85116.22	73122.17	73124.1	72138.4	72138.4
437	65115.0	66116.1	67121.2	72122.7	70120.5	67117.2	65115.0	65115.0	68118.3	72122.7	75125.10	91174.66	64441.35	70433.32	8054.41	86169.52	96191.62	85199.48	73122.15	73122.15	73122.15
436	67117.2	69119.4	70120.5	71121.6	70120.5	67117.2	66116.1	66116.1	68118.3	70120.5	72122.7	143189.12	102138.99	120129.11	102138.99	96146.4	74191.61	68116.4	68116.4	68116.4	68116.4
435	70120.5	72122.7	74124.9	67118.3	68118.3	69111.4	69111.4	69111.4	68118.3	68118.3	68118.3	751301.35	107143.86	90127.4	115135.30	127152.91	153190.45	145124168.07	111132.0	10199.76	81190.43
434	71121.6	72122.7	73123.0	68118.3	68118.3	69111.4	69111.4	69111.4	68118.3	68118.3	68118.3	160197.126	113130.84	88137.2	104122.94	107125.25	111135.56	12611051171.02	131174164.12	143120126.12	143120126.12
433	70119.4	70119.4	70119.4	71120.5	71120.5	69111.4	69111.4	69111.4	68118.3	68118.3	68118.3	1381101.92	121170.87	92134.72	92129.89	111134.104	122142.131	169192160.35	186120190135193171130.11		
432	68117.2	67116.1	67116.1	74123.8	71120.5	68117.2	65114.0	65114.0	68118.3	65114.0	68117.2	70119.4	1051102.51	115199.74	784215.6	55291.76	116145.09	112132.101	13815612818811011305131208131500121		
431	71118.4	71118.4	71118.4	71120.5	68115.1	66113.0	64111.0	64111.0	66113.0	68115.1	70117.3	751715.10	100131.64	90160.81	81127.77	106140.10	110133130132214110116181145124213121401128121				
430	69116.2	69116.2	69116.2	67114.3	65116.2	69116.2	69116.2	69116.2	69116.2	69116.2	69116.2	71114.0	111051101	117175.11	93193.89	67401.86	9727.10	112134.10	116136.107	14016313119511919210126138121	
429	64113.0	66113.0	66113.0	64111.0	67114.0	71121.4	71121.4	71121.4	71121.4	71121.4	71121.4	64111.0	69114.2	94111.21	131112.106	105131.03	91119.56	114151181141371091191491118581901207138121			
428	67111.0	66113.0	65119.0	64118.0	67111.0	71115.2	74118.5	71115.2	71115.2	71115.2	71115.2	64118.0	67110.4	96112.27	12711019.2	127777114	1031311141161421771161471101191119111				
427	64118.0	1019.0	64118.0	65119.0	66111.0	66112.0	68113.0	68113.0	68113.0	68113.0	68113.0	66110.0	66110.0	66109.0	66109.0	74191.11	108196.87	642102112124162113192127.10	115149111911191119111101451101146132141		
426	67111.0	65119.0	66110.0	67111.0	67111.0	67111.0	67111.0	67111.0	67111.0	67111.0	67111.0	67111.0	67111.0	67111.0	67111.0	67111.0	67111.0	67111.0	67111.0	67111.0	67111.0
425	69111.0	68112.0	68112.0	701141	701141	701141	701141	701141	701141	701141	701141	701141	701141	701141	701141	701141	701141	701141	701141	701141	701141
424	701141	701141	701141	71116.2	72116.3	73117.4	74118.5	74118.5	72117.4	72116.3	71115.2	69121.0	69121.0	69121.0	69121.0	69121.0	69121.0	69121.0	69121.0	69121.0	69121.0
423	77117.8	77118.16	77118.16	71122.0	70113.0	70113.0	70113.2	69110.4	69110.4	69110.4	69110.4	66113.0	64111.0	63104.0	63104.0	67108.42	67108.42	67108.42	67108.42	67108.42	67108.42
422	69112.7	70113.5	71113.1	71131.1	71137.0	71150.0	72110.0	72110.0	72110.0	73116.0	73116.3	77119.7	78117.8	67114.0	71121.0	66110.5	79172.9	13518210116319514312813401213614713712314118			
421	67111.0	67112.0	68113.0	74120.0	71191.0	72110.0	72110.0	72110.0	72110.0	72110.0	72110.0	78111.9	78111.9	78111.9	78111.9	68110.16	621106.20	6919.7	6385123	4440.15	84145.64
420	71117.0	70116.0	71114.0	69112.0	71113.0	70116.4	71117.5	71117.5	70118.0	65110.0	65110.0	65110.0	6277.11	78101.07	45198.5	43540.21	21181.11	40111.33	361126.63	163194150118191410129112915121	
419	72113.0	69110.0	65112.0	63190.1	61193.1	59192.5	58117.3	55194.0	51181.0	50179.0	46197.0	46197.0	46197.0	46197.0	46197.0	46197.0	46197.0	46197.0	46197.0	46197.0	46197.0
418	69190.1	52181.0	50175.0	57173.1	48171.3	40162.0	36156.0	36157.0	43165.0	52174.0	58118.1	80120.0	64100.0	44100.0	44100.0	16121.0	20124.7	810.0	18105	1577118169160155125136111	
417	40157.0	36152.0	34150.0	40150.0	38150.0	36151.0	38154.0	36150.0	36150.0	36150.0	36150.0	68108.19	66108.19	66108.19	66108.19	66108.19	66108.19	66108.19	66108.19	66108.19	66108.19
416	26135.0	27137.0	26139.0	28141.0	32148.0	41150.0	53174.0	70193.1	88113.12	103129.20	121139.26	1401111	111137125	84195.16	52171.1	19126.0	21120.1	13120.0	18104	141811501166178191	
415	28138.0	27131.0	43190.0	55176.1	71195.1	74199.7	761104.1	95120.13	109144.18	112149.17	119157.20	14168.11	1211561261001122136	76176.24	37139.2	12121.0	13132.0	11121.0	6118147	17119.15	
414	68182.0	71195.1	79107.7	831158	97131.18	98136.14	98139.9	110154.17	116163.20	114162.14	117166.15	112117.2	12								



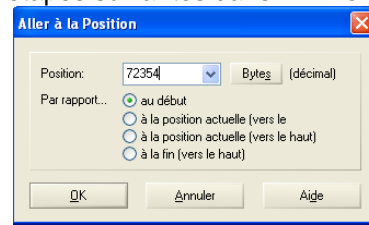
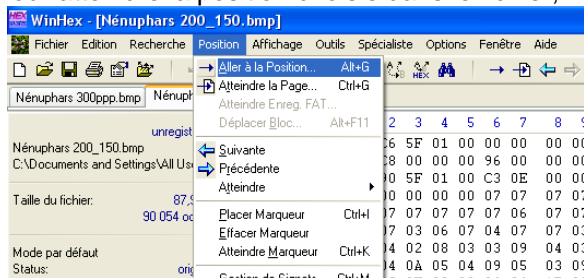
Coordonnées de ce pixel :
(100 ; 120)

Pour simplifier, nous chercherons ici à représenter un trait rouge de six pixels sur la feuille de nénuphar au lieu de la coccinelle précédente.

Dans le fichier BMP, les informations des différents pixels sont représentées les unes après les autres donc pour trouver les informations du pixel (100 ; 120) il faut procéder en plusieurs étapes :

- ✓ Chaque ligne étant constituée de 200 pixels, le premier pixel de la ligne numéro 120 est le $120 \times 200^{\text{ème}}$ pixel de l'image
- ✓ Il faut rajouter 100 pixels pour atteindre celui recherché (100 ; 120)
- ✓ Chaque pixel étant codé sur trois octets, nous obtenons une position à atteindre 72300.

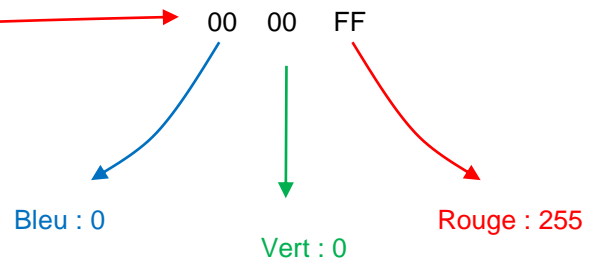
Pour atteindre la position choisie dans le fichier, nous réalisons les étapes suivantes dans WinHex :



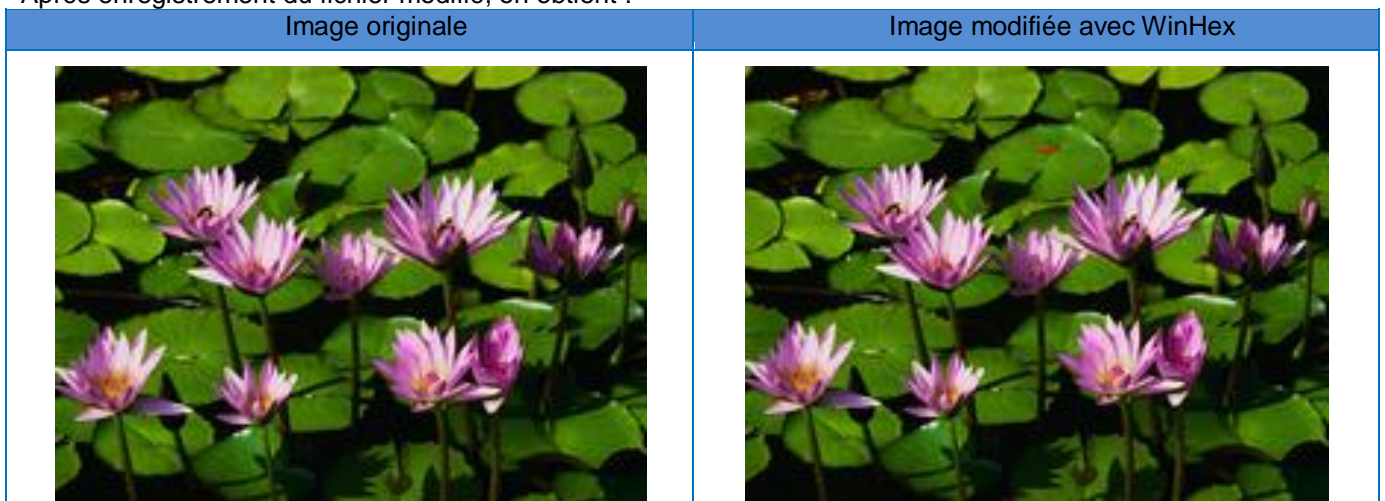
Il faut tenir compte des 54 octets de l'entête du fichier BMP

Il suffit alors de modifier les valeurs hexadécimales dans le tableau en respectant l'ordre de représentation Bleu Vert puis Rouge

00072288	05 15 13 03 13 15 03 0B	0A 04 0B 07 09 3A 25 08
00072304	70 44 00 7A 47 03 79 46	0E 81 4F 0E 86 53 0C 86
00072320	53 0E 87 53 14 89 56 13	86 54 0D 7F 4E 09 84 52
00072336	06 85 52 07 81 50 04 7A	49 08 2E 4D 0C 82 51 08
00072352	7E 41 00 00 FF 00 00 FF	00 00 FF 00 00 FF 00 00
00072368	FF 00 00 FF 0B 6E 47 0A	72 48 06 83 50 00 7F 4B
00072384	08 80 4E 0B 7A 48 08 79	44 0B 7C 47 09 7B 46 07
00072400	79 44 02 79 40 04 7C 43	05 7D 44 07 7D 44 09 82
00072416	47 02 85 47 0B 8B 50 19	88 57 09 37 22 00 29 14
00072432	06 6B 3B 03 77 43 04 7B	4A 01 78 47 00 75 43 01
00072448	77 45 03 7A 46 06 76 43	05 73 43 04 72 48 02 6F
00072464	46 01 5E 3C 07 47 31 03	25 17 01 0D 04 05 06 06
00072480	05 05 07 03 0E 09 07 21	15 04 2A 1E 08 4C 3E 0F
00072496	86 71 11 AB 81 09 B8 7B	03 AF 72 04 A0 6B 05 A0
00072512	65 09 9D 65 06 91 5C 02	88 58 00 84 5A 04 88 5E
00072528	02 86 5C 04 88 5E 03 8B	5F 00 89 5C 01 88 5D 02
00072544	00 00 00 00 00 00 00 00	00 00 00 00 00 00 00 00



Après enregistrement du fichier modifié, on obtient :

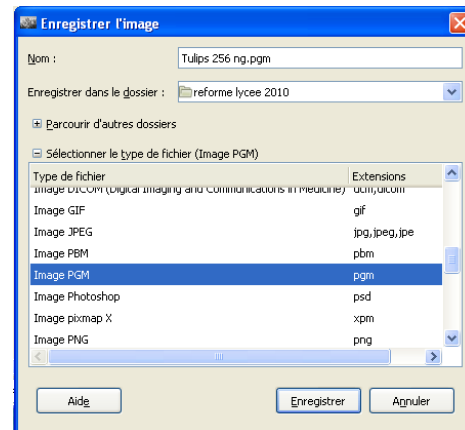
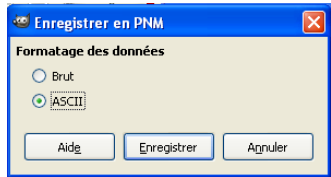


C. Utilisation d'un tableau

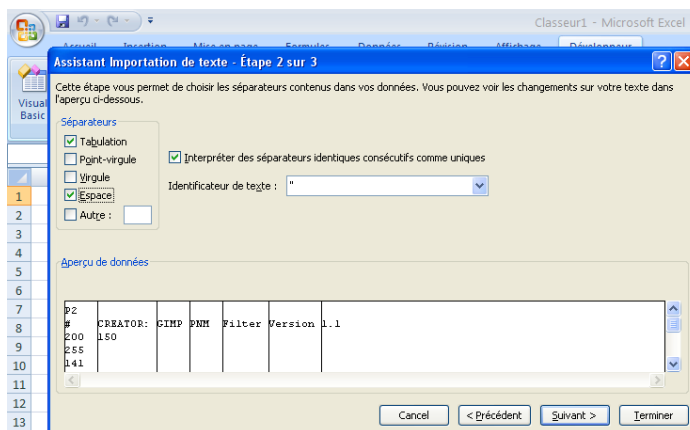
La ressource pédagogique « Photo et tableau » pour l'enseignement des mathématiques en STD2A (voir le lien <http://eduscol.education.fr/cid45766/mathematiques-pour-le-college-et-le-lycee.html>) propose l'utilisation d'un format de fichier image particulier : PGM qui permet un enregistrement au format ASCII exportable vers un tableau.

Nous reprenons l'image tulips.bmp réduite en 200 × 150 pixels que nous avons préalablement transformée en niveau de gris.

L'enregistrement au format PGM est choisi dans le logiciel Gimp en précisant un formatage de données en ASCII.



La lecture du fichier PGM dans Excel peut être réalisée en rajoutant un séparateur « espace ».



Les quatre premières lignes constituent l'entête du fichier :

P2 : signature du fichier PGM (niveaux de gris)

: ligne de commentaires

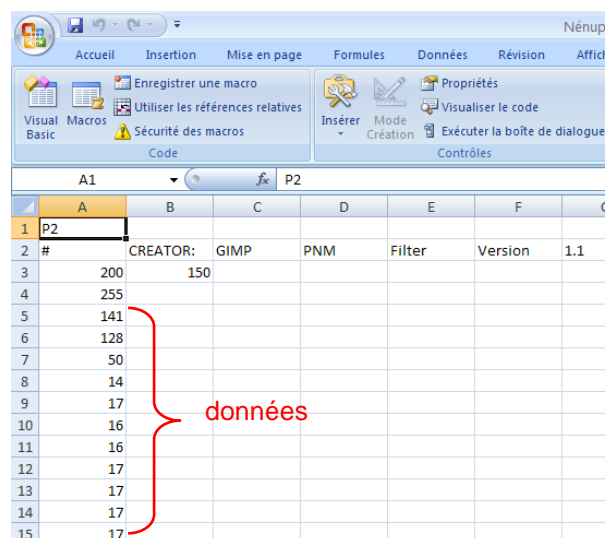
200 150 : taille de l'image

255 : la valeur maximale pour coder les niveaux de gris (donc ici en 8 bits)

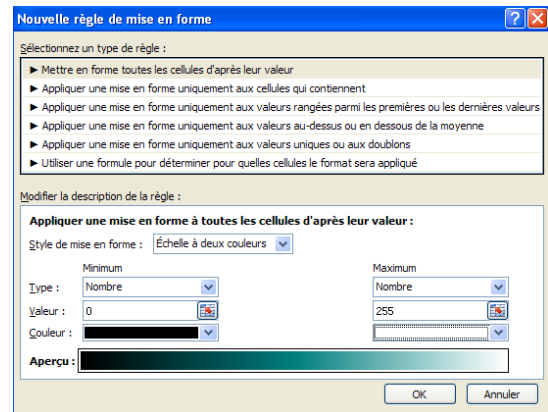
Les données apparaissent ensuite dans une seule et même colonne.

La transformation de la colonne en un tableau peut être réalisée avec la fonction :

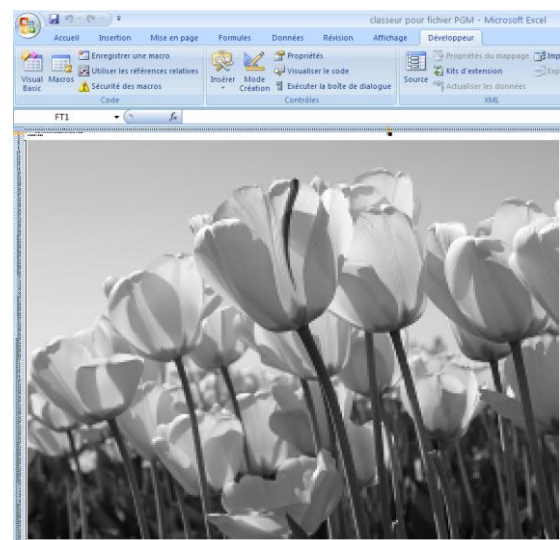
=index(pixels ; nb_colonnes*(ligne()-5)+colonne())



Pour que la cellule apparaisse avec un niveau de gris correspondant à sa valeur, il faut choisir une mise en forme conditionnelle :



Le fichier « classeur pour fichier PGM.xlsxm » a été préparé et comporte deux macros. La première, Creation_tableau permet de transformer automatiquement les données en colonne en un tableau de données au format de l'image. La mise en forme conditionnelle a été paramétrée comme indiquée plus haut.

[illegible]

Puisqu'une image numérique correspond en réalité à un tableau de nombre, nous pouvons modifier à volonté les valeurs numériques du tableau et donc l'image. Nous choisissons un exemple simple : réaliser un négatif de notre image. Les pixels noirs vont devenir blancs et inversement les blancs vont devenir noirs. Cela donne le tableau de correspondance ci-contre pour lequel on peut déduire une fonction de conversion.

NG avant	NG apres
0	255
255	0

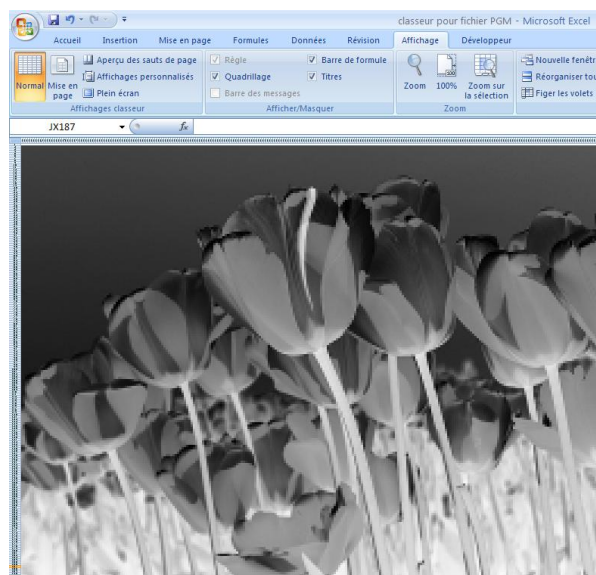
fonction de conversion

$NG \text{ après} = -NG \text{ avant} + 255$

NG avant	NG après
0	255
255	0

Dans une nouvelle feuille Excel, chaque valeur du tableau précédent est modifiée d'après la fonction de conversion pour obtenir son négatif (voir le fichier « résultats.xlsx »).

Avec le même zoom de 25%, on obtient l'image en négatif ci-contre.



V. Autofocus d'un Appareil Photographique Numérique

A. Présentation

La mise au point automatique (ou autofocus) est présente sur tous les appareils numériques actuels. Elle peut être réalisée par deux méthodes :

- La détection de contraste
- La détection à différence de phase

Nous ne traiterons ici que de la première méthode. La détection de contraste est présente dans les appareils compacts. Il s'agit d'un traitement numérique à partir de l'image obtenue sur le capteur. Lorsque l'utilisateur appuie à mi-course sur le déclencheur, un programme analyse l'image obtenue pour calculer le contraste puis impose un léger déplacement de la lentille de mise au point jusqu'à ce que le contraste soit maximal.

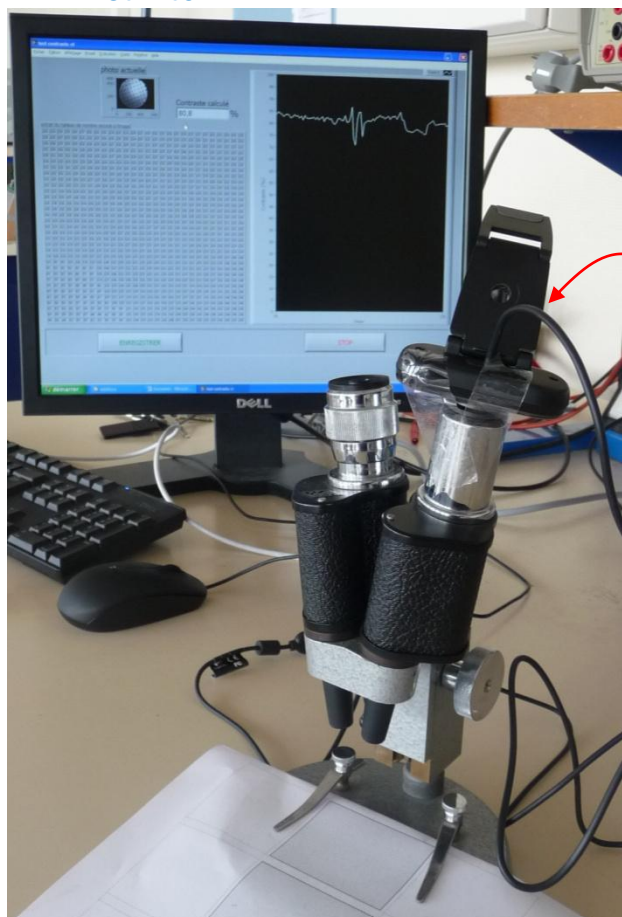
Ci-dessous un exemple de prises de vues suite au déplacement de la lentille de mise au point :

Image			
Contraste calculé	0,84545	0,881919	0,888889
Image			
Contraste calculé	0,888889	0,888889	0,910112

Image			
Contraste calculé	1	0,992187	0,984436

Il peut être intéressant de montrer aux élèves l'animation du site <http://www.pixelvalley.com/appareil-numerique/autofocus.php> pour mettre en évidence le fonctionnement « mécanique » de l'autofocus.

B. Activité



L'activité proposée constitue une expérience de cours car la réalisation par les élèves peut s'avérer délicate.

Elle nécessite l'utilisation d'une loupe binoculaire, d'une webcam (dont le driver a préalablement été installé) et d'un programme développé sous LabView disponible au lycée des Catalins sur simple demande :

olivier.schira@ac-grenoble.fr

Webcam C210
(Logitech)

Le réglage préalable de la webcam sur l'oculaire de la loupe est délicat. Il faut s'assurer que le cercle oculaire est le plus centré possible et surtout que l'image nette obtenue possède une intensité lumineuse relativement uniforme.

Après exécution du programme, le professeur agit sur la molette de réglage de la loupe pour observer en temps réel l'image et l'évolution du contraste calculé (voir photo ci-contre).

Dans un premier temps, il est nécessaire de trouver un critère permettant d'estimer par calcul le contraste de l'image numérique. Il est possible de partir de l'exemple suivant :



Photo 1

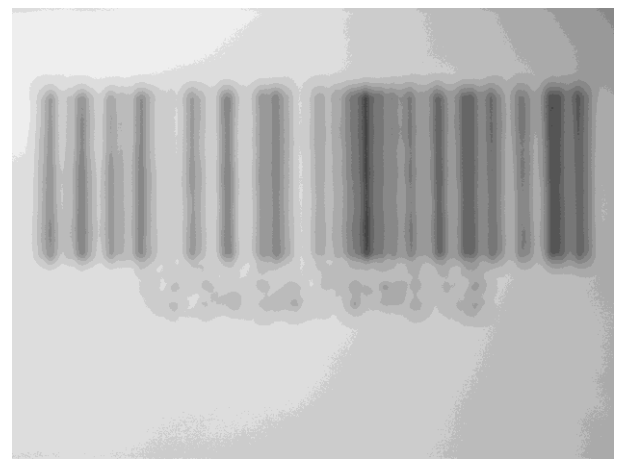
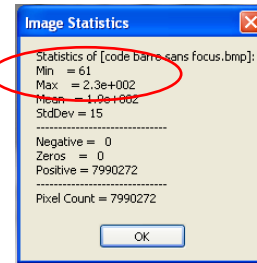
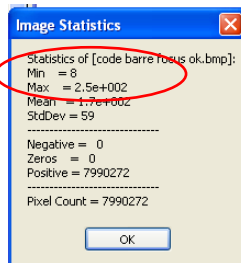


Photo 2



Une analyse des statistiques de l'image dans ImLab permet de confirmer les impressions visuelles :

- le noir de la photo 2 est « moins noir » que celui de la photo 1
- le blanc de la photo 2 est « moins blanc » que celui de la photo 1

L'idée vient alors rapidement que le contraste est d'autant plus grand que l'écart entre le niveau de gris le plus élevé et celui le plus faible est plus grand. Le contraste est calculé à partir de la relation de Michelson

_____ où L_{\max} représente la valeur maximale dans le tableau de nombre. Même si cette relation ne rend pas forcément compte de la qualité visuelle du signal image, c'est celle que nous utiliserons parce qu'elle est très simple et relativement intuitive pour les élèves.

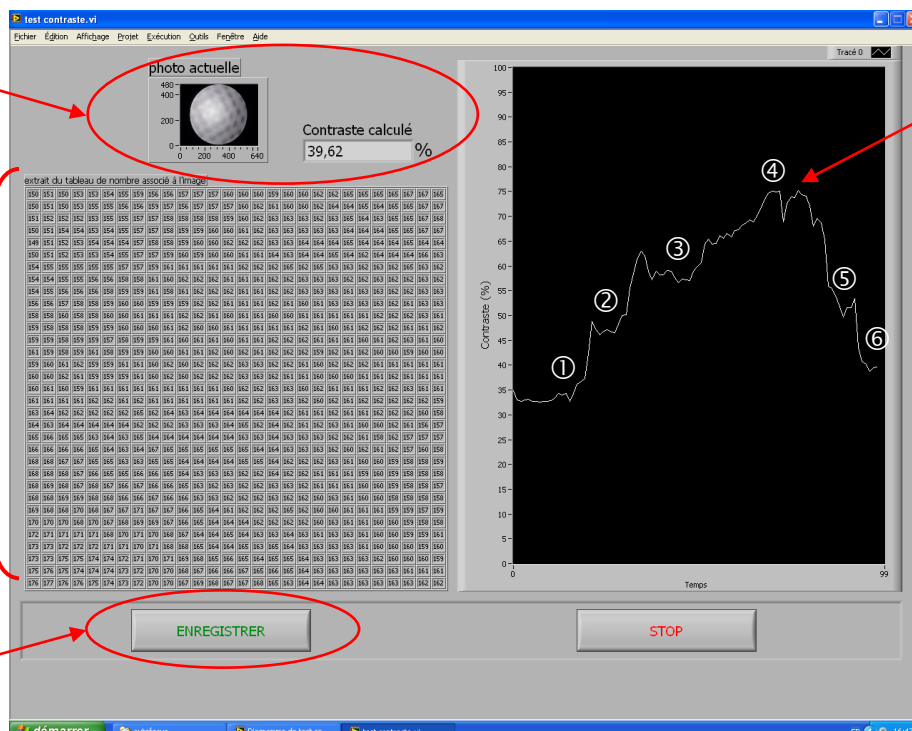
Pour les deux images précédentes, nous obtenons $C_{\text{photo1}} = 0,94$ et $C_{\text{photo2}} = 0,58$.

Le contraste calculé étant défini, nous précisons que dans le programme, il sera affiché en pourcentage.

Aperçu de l'image actuelle et affichage du contraste calculé en temps réel.

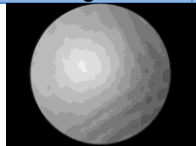
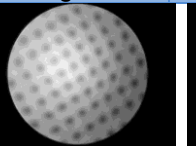
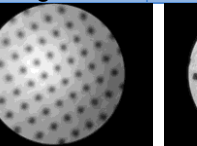
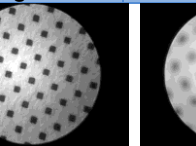
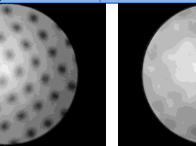
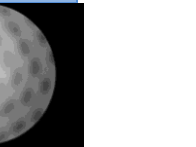
Aperçu du tableau de nombres associé à l'image

Cliquer pour enregistrer une photo



Evolution du contraste au cours du temps. Cela permet de voir à quel moment il a été maximum.

Au fur et à mesure de la manipulation, des images sont enregistrées (points 1 à 6 sur le graphe) pour montrer ensuite le lien entre la valeur calculée du contraste et la qualité de la mise au point de l'image.

	Image ①	Image ②	Image ③	Image ④	Image ⑤	Image ⑥
						
Contraste	34%	47%	56%	75%	52%	40%

C. Ressources internet

- 1) Autofocus à détection de contraste :
<http://www.pixelvalley.com/appareil-numerique/autofocus.php>
<http://www.declencheur.com/photo/emission/note/autofocus-olympus-appareil-photo>
- 2) Autofocus à différence de phase :
<http://www.edgar-bonet.org/physique/af/>
http://www.pierretoscani.com/echo_focus.html

Spécifications

Appareil photo numérique: Informations pour votre sécurité

Source d'alimentation: 8,4 V c.c.

Consommation d'énergie: 1,5 W (prise de vue avec l'écran ACL)
1,5 W (prise de vue avec le viseur)
0,7 W (visualisation avec l'écran ACL)
0,7 W (visualisation avec le viseur)

Nombre de pixels: 8 100 000 pixels

Capteur d'image: DCC de 1/2,5 po, nombre total de pixels 8 320 000 pixels, filtre couleurs primaires

Objectif: Zoom optique 18×, f=4,6 mm à 82,8 mm (Équivalent pour une pellicule photo de 35 mm: 28 mm à 504 mm)/F2.8 à F4.2

Zoom numérique: Max. 4×

Zoom optique étendu: (Sauf pour la taille d'image maximale de chaque format)
Max. 28,7×

Mise au point: Normal/MPA macro/Mise au point manuelle, Détection de visage/Mise au point sur plusieurs points/Mise au point 3 points (haute vitesse)/Mise au point 1 point (haute vitesse)/Mise au point 1 point/Mise au point ponctuelle

Plage de mise au point: MPA : 30 cm (Grand-angle)/2 m (Téléobjectif) à ∞