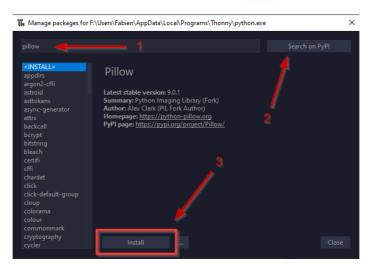
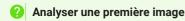
Les images matricielles

Avant toutes choses, nous allons utiliser le module pillow de Python. Nous allons donc l'installer dans Thonny, en utilisant le menu Tools > Manage Packages, et dans la barre de recherche, chercher le module pillow, et l'installer si il n'est pas déjà installé.



- 1. Notion de BitMap: une image en noir et blanc
- 1.1. Bitmap



Considérons l'image suivante :



Énoncé

- 1. Téléchargez ici cette image et sauvegardez-la dans un dossier BitMap que vous aurez créé.
- 2. Quel est le format de cette image ? Recherchez sa signification sur le web.
- 3. Quelles en sont les dimensions en pixels ? Quelle est sa taille en octets ?
- 4. Ouvrez l'image grâce au logiciel Hex Editor Neo (que vous pouvez mettre en Français par l'intermédiaire de Tools > Settings > Language). Le réglage basique de Hex Editor Neo donne les valeurs hexadécimales des différents octets composant l'image. Dans la colonne située à droite de ces valeurs hexadécimales, on trouve une représentation de ces octets au format ANSI, c'est-à-dire sous forme de caractères. Que retrouve-t-on au tout début de cette colonne ?
- 5. En cliquant droit sur les groupes d'octets, effectuer le réglage suivant :
 - Afficher comme > Décimale
 - Colonnes > 32 colonnes

Puis supprimer les 13 premiers octets (juste avant la première valeur 255). Dézoomer avec CTRL + Molette de souris. Que voit-on apparaître ?

- 6. Que représente une valeur décimale 255 (ou ff en hexadécimal)?
- 7. Que représente une valeur décimale 0 (ou 00 en hexadécimal)?

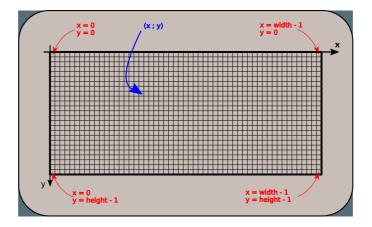
Réponses

A venir!

1 Les images matricielles

Les **images matricielles**, ou « cartes de points » (de l'anglais *Bitmap*) est une image constituée d'une matrice de points colorés. C'est-à-dire, constituée d'un tableau, d'une grille, où chaque case possède une couleur qui lui est propre et est considérée comme un point. Il s'agit donc d'une juxtaposition de points de couleurs formant, dans leur ensemble, une image.

Dans notre cas, l'image est une matrice carrée de taille 32×32 pixels. Chaque pixel peut donc être repéré par ses coordonnées, comme sur le schéma ci-dessous, où width (largeur en anglais) et height (hauteur en anglais) sont les dimensions de l'image. Attention! Le sens de l'axe de ordonnées est inversés par rapport aux mathématiques!





En fait notre image utilise beaucoup plus de place en mémoire qu'elle ne le devrait. En effet, pour représenter 2 couleurs (noir et blanc), un seul bit suffit. 0 représente un pixel noir, et 1 représente un pixel blanc. Le format pgm n'est pas vraiment adapté aux pures images en noir et blanc, puisqu'il utilise 1 octet complet pour représenter la couleur, soit 8 fois plus que ce qui est strictement nécessaire.

1.2. Manipulation d'images avec Pillow

i Module Pillow

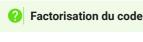
Le module pillow de python permet la manipulation des images. Son guide (en anglais) est disponible ici.

Son utilisation basique est relativement simple, testez par exemple le code suivant :

```
1
     from PIL import Image
 2
 3
    originale = Image.open("YingYang.pgm")
    width, height = originale.size
    copie = Image.new(originale.mode, originale.size)
 6
 8
    for x in range(width) :
 9
        for y in range(height) :
10
             if originale.getpixel((x,y)) == 255 :
11
                 copie.putpixel((x, y), 0)
12
             else :
13
                 copie.putpixel((x, y), 255)
14
    copie.save("YangYing.bmp")
15
     copie.show()
16
```

Explicitons alors ce code:

- Ligne 1 : on importe la classe Image du module PIL (c'est-à-dire pillow).
- Ligne 3 : on utilise la *méthode* open de la classe Image pour ouvrir l'image YingYang.pgm et la stocker dans la variable originale, qui est donc un objet de type Image.
- Ligne 4: on utilise l'attribut size des objets Image extraire la largeur et la hauteur de notre image, et les stocker dans les variables width et height, de type int.
- Ligne 6 : copie est un nouvel objet de type Image , qui possède les mêmes caractéristiques que l'image originale : son mode (nous reviendrons dessus plus loin), et sa taille grâce à l'attribut size .
- Lignes 8-9: on va parcourir l'image originale pixel par pixel, en effectuant le parcours colonnes par colonnes.
- Lignes 10 : on récupère la valeur du pixel de coordonnées (x; y) de l'image originale grâce à la méthode getpixel, et on regarde si il est blanc (==255).
- Ligne 11 : si la condition précédente est vraie, on va fixer la couleur du pixel de coordonnées (x;y) de la copie à noir (0), grâce à la méthode putpixel (Attention! putpixel et getpixel n'acceptent que des tuples pour les coordonnées! Si vous oubliez la paire de parenthèses, vous risquez d'obtenir TypeError: putpixel() takes 3 positional arguments but 4 were given).
- Lignes 12-13 : si la condition est fausse, on va fixer la couleur du pixel de coordonnées (x; y) de la copie à blanc (255).
- Ligne 15: on sauvegarde la copie sous le nom YangYing.bmp. Vous devriez trouver ce fichier dans votre dossier. On notera que pillow accepte de changer le type de fichier (ici on est passé de pgm à bmp).
- Ligne 16: on affiche l'image copie.

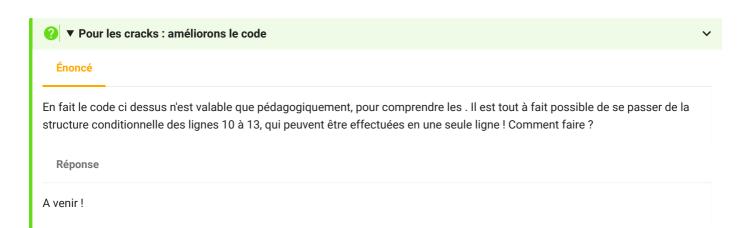


Énoncé

Transformez le code précédent en créant une fonction inverseNB(img) qui prend en argument un objet img de type Image et qui renvoie un nouvel objet de type Image de même dimension et même mode que l'argument, mais ayant ses couleurs noirs et blanc inversées.

Correction

A venir!



2. Les niveaux de gris

2.1. Un exemple



On considère maintenant l'image suivante :



téléchargeable ici.

Énoncé

- 1. Quelle est la dimension de cette image en pixels ? Quelle est sa dimension en octets ?
- 2. Ouvrez-là avec Hex Editor Neo . Quelle est la principale différence avec l'image précédente ?
- 3. Testez sur cette image la fonction inverseNB. Obtient-on un négatif de cette image?

[] Images en niveaux de gris - Grayscale

Pour représenter une palette de 256 couleurs allant du noir au blanc, on utilise un octet complet

- la valeur 0 représente le noir ;
- la valeur 255 représente le blanc ;
- une valeur proche de 0 représente un gris foncé
- une valeur proche de 255 représente un gris clair.

Une telle image, dite en « niveaux de gris », utilise 1 octet par pixel.

2.2. Manipulation d'une image en niveau de gris

Manipuler les images

Énoncé

- 1. Téléchargez une image quelconque libre de droits sur internet peu importe son format.
- 2. On cherche à obtenir un négatif de l'image. Pour ce faire, il faut utiliser une fonction mathématique. En effet, ce que nous voulons, c'est une fonction qui transforme :
 - 0 en 255
 - 1 en 254
 - 2 en 253
 - ..
 - 254 en 1
 - 255 en 0

Quelle est cette fonction?

3. Créer alors une fonction python négatif(img) qui renvoie le négatif de l'objet img de type Image.

4. Éclaircissement d'une image:

Pour éclaircir une image, il faut transformer les valeurs *grayscale* de chaque pixel en les augmentant. Une possibilité simples est de les augmenter d'un terme constant, comme 20 par exemple. Ainsi, un pixel initialement à 0 sera changé à 20, et un pixel à 147 sera changé à 167 (pillow n'autorisera pas les dépassement au delà de 255, donc un pixel à 250 sera bien transformé à 255).

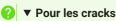
Créer alors une fonction python éclaircir(img, t=20) qui renvoie un nouvel objet de type Image, version éclaircie de l'objet img de type Image passé en argument, et utilisant l'argument optionnel t.

5. Assombrissement d'une image :

Créer de même une fonction python assombrir(img, t=20) qui renvoie un nouvel objet de type Image, version assombrie de l'objet img de type Image passé en argument, et utilisant l'argument optionnel t.

6. Était-on vraiment obligé de faire deux fonctions?

Correction



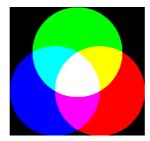
Nos éclaircissement et assombrissement précédents ne sont guère satisfaisants... car nous ne jouons pas sur le contraste. Il existe bien de fonctions mathématiques permettant d'améliorer notre méthode. Vous pouvez vous inspirer du travail de Paul Milan, très mathématique, ou bien tester les fonctionnalités du module pillow, en suivant par exemple ce tutoriel.

2.3. Images en couleur

Il est temps de mettre un peu de couleur!

Synthèse additive RGB

Un pixel de couleur est représenté par un triplet (R;G;B), où R,G et B sont des valeurs de 0 à 255 représentant respectivement les couleurs rouges, vertes et bleues. Un tel système permet de représenter $256^3=16$ 277 216 nuances de couleurs différentes, par **synthèse additive des couleurs**. Ce format est adapté à la lecture sur écran (on utilise un système différent pour l'impression des images, le système CYMB - Cyan Yellow Magenta Black - qui utilise la synthèse soustractive).



De ce fait, dans un format non compressé comme le format BMP, chaque pixel est représenté par 3 octets.

Exemple

On considère l'image suivante :



L'image est de dimension 320×100 et pèse 96 ko, ce qui correspond $320 \times 100 \times 3 = 96~000~o$ (en n'oubliant pas les métadonnées).



Énoncé

1. Téléchargez l'image suivante :



2. Créer un code dans Thonny ouvrant l'image et affichant cette image :

```
from PIL import Image
originale = Image.open("TroisCercles.bmp") ## Attention si vous avez changé le nom !
originale.show()
```

3. .

a. Insérez dans ce code la commande :

```
print(image.getpixel((150,50)))
```

Que renvoie-t-elle?

- b. A l'aide d'un éditeur d'images, repérer dans l'image précédente le pixel de coordonnées (250;100). Quelle est sa couleur ?
- 4. Reprendre la question 3 avec les pixels suivants :
 - a. (50; 100)
 - b. (250; 100)
 - c. (100; 130)
 - d. (200; 130)
 - e. (50; 230)
 - f. (150; 150)

Solutions



Dans certains formats d'image il est possible d'utiliser un quatrième octet pour chaque pixel, qui permet de gérer la **transparence** (aussi appelée **canal alpha**) de ce pixel. Cette valeur défini un pourcentage de transparence permettant de voir au travers de ce pixel, et donc de superposer des images.

Par exemple, les deux images suivantes sont construites ainsi : une est construite en jpg , sans transparence, avec fond noir, et la seconde est en png , avec transparence pour le fond de couleur noire :





Dans un format avec transparence, la valeur 0 correspond à un pixel totalement opaque, et une valeur 255 à un pixel totalement transparent.

2.4. Compression des images

Compression des images

Les images sont très gourmandes en place mémoire. Un moniteur moderne supportant une résolution 4K a pour dimension $4~096\times2~160$ pixels, soit plus de 8,8 millions de pixels. Une image de fond d'écran couleur, avec transparence, **non compressée**, représente donc plus de $8,8\times4\simeq35$ millions d'octets, soit plus de 35 Mo.

Pourtant une image comme celle-ci (crédits inconnus), pourtant bien de la dimension 4.096×2.160 , pèse seulement 4,52 Mo.

Ceci est du à un processus appelé compression d'images, qui peut être effectué de plusieurs manières différentes :

- en réduisant le nombre de couleurs réelles de l'image (on crée une palette spécifique pour cette image, dont la table de correspondance est insérée dans les méta-données de l'image);
- en groupant les pixels contigus de même couleur (100 pixels de la même couleur sur la même ligne occupent a minima 300 octets, alors que l'information « Il y a 100 pixels sur cette ligne de la même couleur à partir de la position $(x_0; y_0)$ » peut occuper uniquement 6 octets 1 pour le nombre 100, un pour x_0 , un pour y_0 et 3 pour la couleur RGB);
- etc

Par exemple, l'algorithme de compression JPEG redéfinit les couleurs des pixels en leurs ré-attribuant une couleur moyenne qui est calculée en fonction des couleurs des pixels voisins, et qui dépend d'un **taux de compression** définissable par l'utilisateur. Plus le taux de compression est élevé, plus l'image sera dégradée (compression avec perte==):







Original: 1,42 Mo

Format déjà compressé

Copie 1: 205 ko

Compression depuis original: 90%

Copie 2: 162 ko

Compression depuis original: 99%

Il existe cependant des algorithmes de $\{==$ compression sans perte, comme par exemple avec le format [png].

2.5. Les formats des fichiers images

Il existe de nombreux formats d'images numériques de types matriciels. Les principaux sont donnés dans le tableau suivant :

Туре	Extension	Compression	Transparence	Utilisation
JPEG	.jpg , .jpeg , .jfif , .pjpeg , .pjp	avec pertes	Non	Web, aperçus, impressions (si peu de compression)
PNG	.png	sans pertes	Oui	Besoin de transparence fine, peu de couleurs
GIF	.gif	avec pertes	Oui (partielle)	Images animées, fichiers de petites tailles
TIFF	.tiff, .tif	sans pertes	Non	Images hautes définition, scans précis
RAW	.raw, .data,	Non	Non	Images brutes, éditions de photos

Туре	Extension	Compression	Transparence	Utilisation
ВМР	.bmp	Non	En partie	Paint

Les logiciels de retouches et d'édition d'images matricielles sont nombreux, le plus connu étant le célèbre Photoshop, mais qui est un logiciel propriétaire.

Son équivalent libre est GIMP. Il offre les mêmes fonctionnalités, et ne demande qu'une simple adaptation à l'interface...



Dans le tableau précédent, vous n'avez que des format d'images *matricielles*. Il existe aussi un autre type d'images numériques appelé **images vectorielles**, construites sur un tout autre principe.

Une image vectorielle est une image pour laquelle les éléments constitutifs sont stockée sous la forme d'équations.

Ainsi l'image du manchot Tux, mascotte officielle du noyau Linux (à ne pas confondre avec GNU/Linux, est une image vectorielle au format SVG, qui peut être ouverte par Notepad++. On trouve dans le fichier la description des différentes courbes, surfaces, etc... qui décrivent l'image.

L'avantage d'une telle image est qu'elle ne pixelisera pas, quel que soit le zoom qui lui est appliqué (en théorie...).

De telles images peuvent être crées et manipulées à l'aide du logiciel libre Inkscape.

3. Manipulation des images

3.1. Création d'images

1 Exemple de création d'image RGB avec Pillow

Le code suivant permet de créer une image au format png des trois cercles colorés de la synthèse additive :

```
from PIL import Image
 2
     from math import sqrt
 3
 4
    def distance(p1, p2) :
 5
         return sqrt((p1[0]-p2[0])**2+(p1[1]-p2[1])**2)
 6
 7
    def makeCircles(a) :
 8
        width = 3*a
 9
        height = int((2+sqrt(3)/2)*a)
10
         img = Image.new("RGB", (width, height))
11
         for x in range(width)
12
             for y in range(height) :
13
                 R = 255*(distance((x, y), (2*a, (1+sqrt(3)/2)*a))<a
14
                 G = 255*(distance((x, y), (3*a/2, a))<a)
15
                 B = 255*(distance((x, y), (a, (1+sqrt(3)/2)*a))<a)
16
                 img.putpixel((x, y), (R, G, B))
17
         return img
18
19
    if __name__ == "__main__" :
20
        image = makeCircles(100)
21
         image.save("TroisCercles.png")
```

Les lignes importantes sont les suivantes :

- Ligne 10 : on crée une nouvelle image utilisant le format RGB, de la largeur et de la hauteur donnée (sous la forme d'un tuple de dimension 2). On pourrait créer une image avec transparence en utilisant le format RGBA voir ici
- Lignes 11-12, on parcours l'image colonne par colonne, x étant l'abscisse (= le numéro de colonne) et y étant l'ordonnée (= le numéro de ligne).
- ligne 16 : on place à la position (x; y) un pixel dont la couleur est donnée par le tuple (R, G, B), conformément au mode choisi en ligne 10.
- ligne 21 : l'objet image renvoyé par la fonction makeCircles avec l'argument 100 est sauvegardée sous le nom TroisCercles.png grâce à la méthode save.

Un peu de maths

~

L'image est construite à partir d'un triangle équilatéral de côté a dont les sommets sont les centres des trois cercles RGB, et dont les coordonnées sont respectivement $(2a; (1+\frac{\sqrt{3}}{2}a), (\frac{3}{2}a;a))$ et $(a; (1+\frac{\sqrt{3}}{2}a))$.

? Créer des images simples

Énoncé

- 1. Créer le drapeau français sous la forme d'une image de taille 300×200 .
- 2. Créer le drapeau néerlandais sous la forme d'une image de taille 300×210 .
- 3. Créer un damier noir et blanc (ou toute autre paire de couleurs), de dimension 600×400 , et donc chaque carré à une taille de 20 pixels (Indice : pensez à la division euclidienne et à l'opérateur modulo %).

Corrigé

A venir!

3.2. Symétries



Symétries axiales et centrales

Énoncé

Sélectionnez une image libre de droit sur le web.

- 1. Créez une fonction symetrieVerticale qui prend en argument un objet de type Image et qui renvoie un nouvel objet de type Image qui correspond à l'image symétrique de l'originale par une symétrie d'axe médian vertical.
- 2. Créez une fonction symetrieHorizontale qui prend en argument un objet de type Image et qui renvoie un nouvel objet de type Image qui correspond à l'image symétrique de l'originale par une symétrie d'axe médian horizontal.
- 3. Créez une fonction symetrieCentrale qui prend en argument un objet de type Image et qui renvoie un nouvel objet de type Image qui correspond à l'image symétrique de l'originale par une symétrie de centre correspondant au centre de l'image.

Solutions

A venir!

3.3. Filtres colorés



Filtre vert

Quand on applique un filtre vert à une image numérique, on parcourt l'image entière en ne récupérant pour chaque pixel que sa composante verte, et en mettant le rouge et le bleu à 0. Par exemple, avec une image de type png et en gardant le canal alpha:







Filtres de couleur

Énoncé

1. Créer une fonction filtreCouleur qui prend en argument un objet de type Image et un tuple (r, g, b, a), où r, g, b et a sont des booléens, et qui renvoie une nouvelle image pour lesquelles les couleurs RGBA sont conservées si le booléen correspondant est True. Par exemple, l'image de Naruto verte ci-dessus est obtenue par le code:

```
naruto = Image.open("Naruto.png")
narutoGreen = filtreCouleur(naruto, (False, True, False, True))
narutoGreen.show()
```

Créer ainsi des images NarutoRouge.png, NarutoBleu.png, NarutoJaune.png, NarutoMagenta.png et NarutoCyan.png

2. Créer maintenant l'image suivante à partir de pillow (indice : pensez à l'opération modulo !) :



3. Créer une fonction negatif qui prend en argument une image et inverse les octets de chacune de ses composantes, en conservant le canal alpha. On obtiendra par exemple :



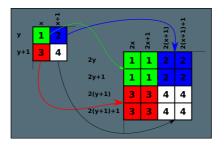
3.4. Agrandissements et réductions d'un facteur 2

Version naïve

Agrandissement d'un facteur 2

Énoncé

Le principe d'agrandissement d'un facteur 2 est le suivant : chaque pixel va être dupliqué 4 fois comme sur le schéma suivant :



Compléter la fonction doubleSimple(image) qui prend en argument un objet de type Image et renvoie un autre objet de type Image deux fois plus grand utilisant la technique montrée ci-dessus :

```
def doubleSimple(image) :
    w, h = image.size
    double = Image.new('RGBA', ...)

for x in range(...) :
    for y in range(...) :
        double.putpixel((2*x,2*y), image.getpixel((x, y)))
        ...
        ...
    return double
```

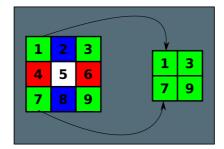
Solution

```
def doubleSimple(image) :
 2
             w, h = image.size
             double = Image.new('RGBA', (2*w, 2*h))
3
 4
             for x in range(w)
 5
                    for y in range(h) :
                          \label{eq:double.putpixel((2*x,2*y), image.getpixel((x, y)))} double.putpixel((2*x,2*y), image.getpixel((x, y)))
 6
                          \label{eq:double.putpixel((2*x+1,2*y), image.getpixel((x, y)))} double.putpixel((2*x+1,2*y), image.getpixel((x, y)))
 7
 8
                           double.putpixel((2*x,2*y+1), image.getpixel((x, y)))
 9
                           \texttt{double.putpixel}((\textcolor{red}{2} * x + \textcolor{red}{1}, \textcolor{red}{2} * y + \textcolor{red}{1}), \texttt{ image.getpixel}((x, y)))
10
              return double
```

Réduction d'un facteur 2

Énoncé

Encore une fois le principe est simple, on ne garde qu'un pixel sur deux, au choix, les pixels de rang pairs ou bien impairs (ici on garde ceux de rang impair):



Créer une fonction reductionSimple(image) qui prends en argument un objet de type Image est qui renvoie sa version réduite avec la méthode ci-dessus.

Solution

```
python linenums = "1"

def reductionSimple(image) :
    w, h = image.size
    reduction = Image.new('RGBA', (w//2, h//2))

for x in range(w//2) :
    for y in range(h//2) :
        reduction.putpixel((x,y), image.getpixel((x*2, y*2)))

return reduction
```

? Combiner les deux

Énoncé

- 1. Créer, à partir d'une image de base, une image réduite, puis, à partir de cette image réduite, une nouvelle image agrandie.
 - a. Vérifier que cette dernière est bien de la même taille que l'image originale.
 - b. Comparer alors cette image avec l'originale. La transformation est-elle avec pertes ou sans pertes ?
- 2. Recommencer mais en agrandissant d'abord.
- 3. Comparer les images obtenues en 1 et en 2. Sont-elles identiques ?

Solution

A venir!

3.5. Version "pour les cracks"



Le principe de l'interpolation est d'augmenter ou de diminuer la matrice initiale d'une image, en créant les nouveaux points à partir de ceux de l'image originale, en y appliquant éventuellement des fonctions mathématiques.

Il existe de nombreuses méthodes d'interpolation en imagerie numérique, certaines nécessitant des algorithmes complexes.

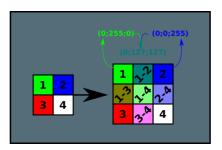
Celles présentées ici font partie des plus simples.

0

Agrandissement avec interpolation par moyenne

Énoncé

La méthode que nous allons utiliser est la suivante :



Entre deux pixels existants, que ce soit horizontalement, verticalement ou en diagonale, on insère un pixel dont la valeur RGBA est égale à la moyenne des valeurs RGBA des deux pixels qui l'encadrent.

- 1. Créer une fonction moyenne (px1, px2) qui prend en argument les valeurs RGBA de ces deux pixels et renvoie un tuple de dimension 4 correspondant à la moyenne par composante RGBA.
- 2. Créer, en s'inspirant de la fonction à partir de la fonction doubleSimple, une fonction doubleInterpolation(image) qui prend en argument un objet de type Image et qui renvoie un nouvel objet de dimension double en utilisant la technique précédente. Attention! Il y a des cas limites à prévoir dans la manipulation des pixels!

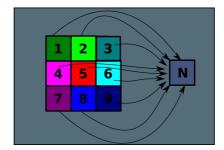
Solution



Réduction avec interpolation par moyenne des voisins

Énoncé

La méthode que nous allons utiliser va consister à reprendre la méthode utilisée dans la réduction simple, c'est-à-dire de prendre un pixel sur deux, mais le pixel écrit dans la nouvelle image sera obtenu en effectuant la moyenne des valeurs RGBA de tous les voisins du pixel choisi :



- 1. Créer une fonction moyenneVoisin(image, x, y) qui prend en argument un objet de type Image, et deux entiers x et y, et qui renvoie un tuple correspondant à la moyenne des valeurs RGBA des voisins du pixel de coordonnées (x; y) de l'image image.
- 2. A l'aide de la fonction précédente, et en s'inspirant de la fonction reductionSimple, créer une fonction reductionInterpolation(image) qui renvoie une image réduite en utilisant la technique précédente.

0

Combiner les deux

Énoncé

- 1. Créer, à partir d'une image de base, une image réduite, puis, à partir de cette image réduite, une nouvelle image agrandie.
 - a. Vérifier que cette dernière est bien de la même taille que l'image originale.
 - b. Comparer alors cette image avec l'originale. La transformation est-elle avec pertes ou sans pertes ?
- 2. Recommencer mais en agrandissant d'abord.
- 3. Comparer les images obtenues en 1 et en 2. Sont-elles identiques ?
- 4. Comparer maintenant les transformations simples avec les transformations avec interpolation.

Solution