Vincent Vigon

Python

pour les proba-stats

Université de Strasbourg

Table des matières

Chapitre 1

Matplotlib

```
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
np.set_printoptions(precision=2)
```

1.1 Intro

Matplotlib est une librairie très riche mais aussi asssez bordélique.
Sans l'aide d'internet, il est difficile de trouver les bonnes commandes, et quand on surfe on a l'impression qu'il y a des tas de syntaxes différentes. Voilà pour les mauvaises nouvelles. La bonne nouvelle c'est qu'elle produit de chouettes graphiques.

Ce chapitre tente une présentation assez exhaustives (donc un peu ennuyante) et l'on explique le lien entre les deux syntaxes principales (l'explicite et l'implicite). Lisez ce chapitre rapidement, et revenez dessus quand necessaire.

1.2 Figure, boites-graphiques et mise en page

1.2.1 Le principe

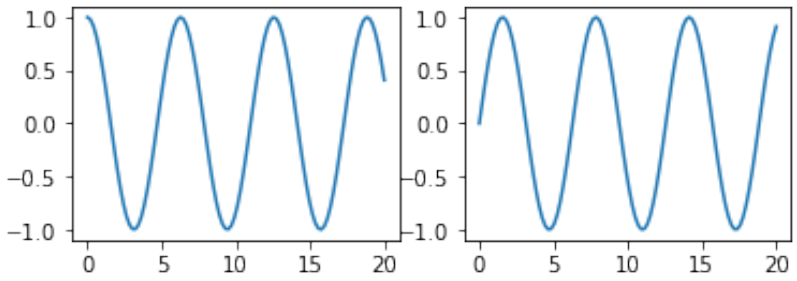
L'initialisation d'un graphique se fait en deux étapes :

— on définit d'abord la figure, qu'on nome traditionnellement `fig` et qui représente la fenêtre.
— puis dans la figure on définit une ou plusieurs boites-graphiques, qu'on nome traditionnellement `ax` (pour 'axis').

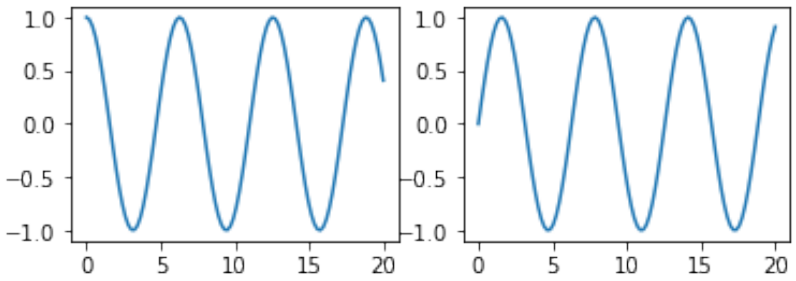
Effectuons cela de deux manières différentes

```
""" Les données à tracer"""
x=np.linspace(0,20,100)
y=np.cos(x)
y_prime=np.sin(x)
```

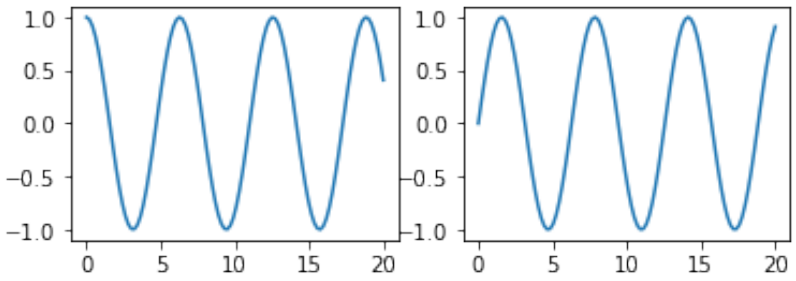
```
""" Première manière, avec 'fig.add_subplot()' """
fig=plt.figure()
fig.set_size_inches(6,2)
ax0=fig.add_subplot(1,2,1) # dans une grille de 1 ligne, 2 colonnes, on
    ajoute la première boite-graphique
ax0.plot(x,y)
ax1=fig.add_subplot(1,2,2) # dans une grille de 1 ligne, 2 colonnes, on
    ajoute la seconde boite-graphique
ax1.plot(x,y_prime) ;
```



```
""" Seconde manière avec 'plt.subplots(1,2)' """
fig,axs=plt.subplots(1,2) # on crée la figure et les 2 boites-graphiques
     d'un coup
fig.set_size_inches(6,2)
fig.set_size_inches(6,2)
axs[0].plot(x,y)
axs[1].plot(x,y_prime) ;
```



```
""" Seconde manière, variante """
fig,(ax0,ax1)=plt.subplots(1,2)
fig.set_size_inches(6,2)
ax0.plot(x,y)
ax1.plot(x,y_prime) ;
```

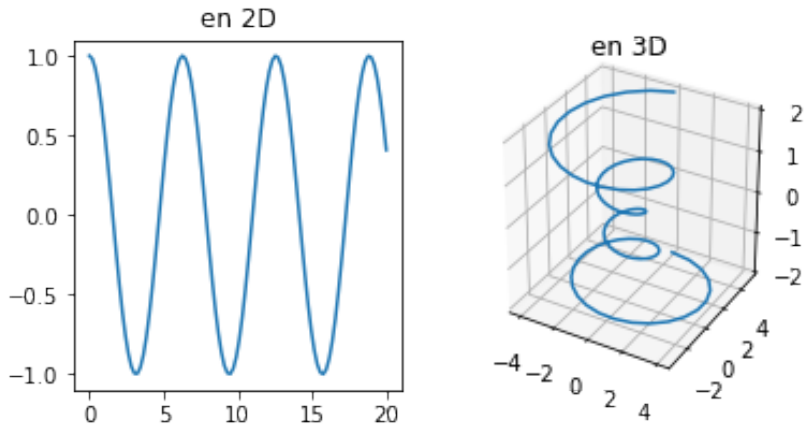


A vous : Il y a une incongruïté mathématique dans les graphes précédent. L'avez-vous (1♡) vue ?

1.2.2 Une boite-graphique 3D

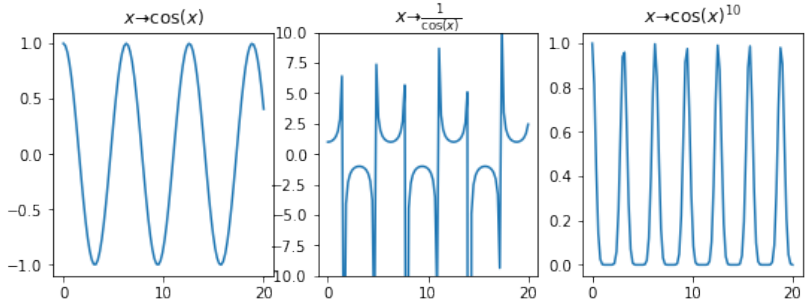
La seconde manière est plus longue (surtout si on veut 16 boites graphiques) mais elle permet de faires des boites-graphiques 3D avec : `ax=fig.add_subplot(1,2,1, projection='3d')`

```
""" Première manière avec une des deux boites en 3d"""
from mpl_toolkits.mplot3d import Axes3D

fig=plt.figure()
fig.set_size_inches(6,3)
ax0=fig.add_subplot(1,2,1)
ax0.set_title("en 2D")
ax0.plot(x,y)

#---------------------------------
z3 = np.linspace(-2, 2, 100)
theta = np.linspace(-4 * np.pi, 4 * np.pi, 100)
r3 = z3**2 + 1
x3 = r3 * np.sin(theta)
y3 = r3 * np.cos(theta)
ax1=fig.add_subplot(1,2,2, projection='3d') # la seconde boite-graphique
     est en 3d
ax1.set_title("en 3D")
ax1.plot(x3,y3,z3) ;
```



1.2.3 Pleins de boites-graphiques

```
"Un vecteur de trois boites-graphiques"

fig,axs=plt.subplots(1,3)
#variante : fig,(ax0,ax1,ax2)=plt.subplots(1,3)
fig.set_size_inches(9,3)

"Attention axis[0,0] provoque une erreur car on a crée un vecteur"
axs[0].plot(x,y)
axs[0].set_title(r"$x \to \cos(x)$")

axs[1].plot(x,1/y)
axs[1].set_title(r"$x \to \frac {1}{\cos(x)}$")
axs[1].set_ylim([-10,10])

axs[2].plot(x,y**10)
axs[2].set_title(r"$x \to \cos(x)^{10}$") ;
```

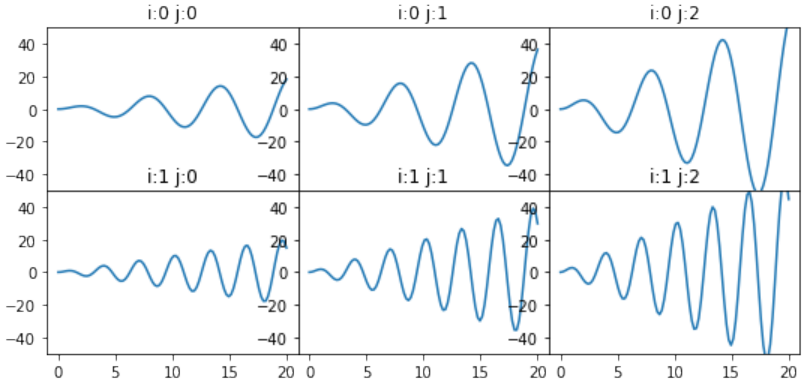


A vous :

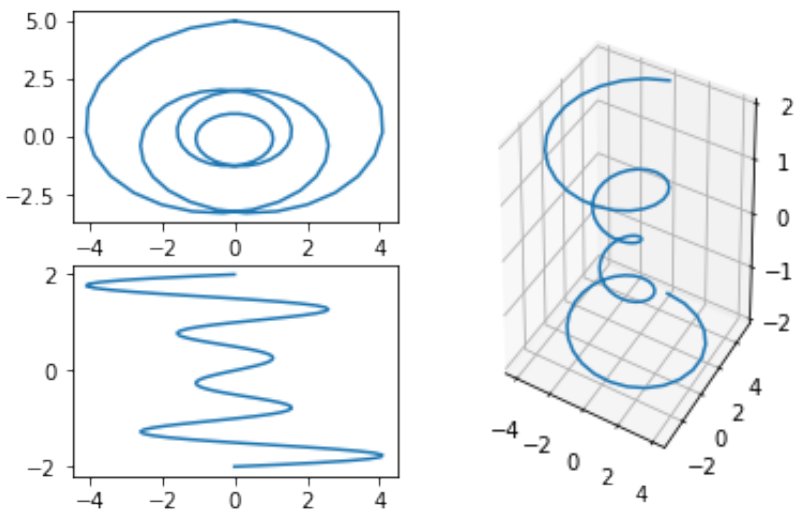
— Les asymptotes (=pic) horizontaux n'ont pas toute la même hauteur. Bizarre, corrigez (1♡) !
— En remplaçant `y=np.cos(x)` par `y=np.sin(x)` cela bug, expliquez (2♡) pourquoi ?

```
"Une matrice de $2\times 3$ boites-graphiques"
fig,ax=plt.subplots(2,3)
#variante : fig,((ax0,ax1,ax2),(ax3,ax4,ax5))=plt.subplots(1,3)
fig.set_size_inches(9,4)
```

```
"on supprime les marges qui sont mises par défaut. On pourrait aussi les
     augmenter"
fig.subplots_adjust(wspace=0.,hspace=0)

for i in range(2) :
    for j in range(3) :
        ax[i,j].plot(x,np.sin((i+1)*x)*(j+1)*x)
        ax[i,j].set_title("i :"+str(i)+" j :"+str(j))
        """On met une même échelle pour comparer les graphiques"""
        ax[i,j].set_ylim([-50,50])
```




```
"une présentation qui n'est pas en grille"
fig = plt.figure()

ax1 = fig.add_subplot(2,2,1)
ax2 = fig.add_subplot(2,2,3)
ax3 = fig.add_subplot(1,2,2, projection='3d')
ax1.plot(x3,y3)
ax2.plot(x3,z3)
ax3.plot(x3,y3,z3) ;
```



A vous : Ajoutez (1♡) le tracez de `z3` en fonction de `y3` sur la même figure ; agrandissez-là un peu.

1.2.4 La mise en page (=layout)

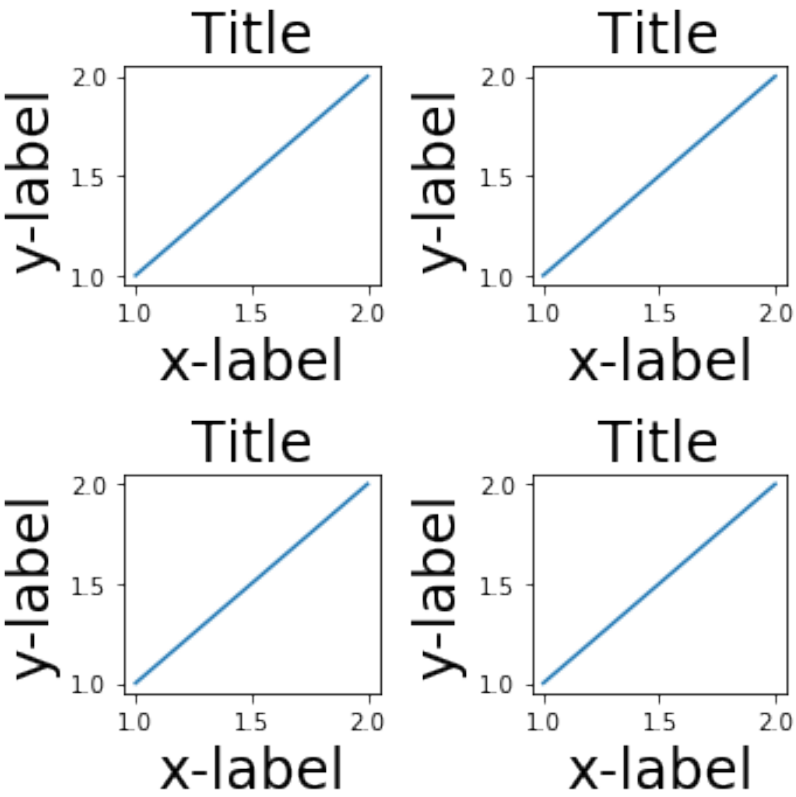
La mise en page se fait avec les méthodes est attachées à la figure. Nous avons déjà rencontré cela :

- `fig.add_subplot(n,m,i)` : Ajout de la i-ième boite-graphique dans une grille $n \times m$.
- `fig.add_subplot(n,m,i, projection='3d')` : cette case est un 3d projeté.
- `fig.set_size_inches(5,10)` : largeur haute en inch (=2.5cm)
- `fig.subplots_adjust(wspace=0.6,hspace=0.6)`

Mais la fonction vraiment magique c'est :

- `fig.tight_layout()`

```
def example_plot(ax) :
    fontsize=24
    ax.plot([1, 2],[1,2])
    ax.set_xlabel('x-label', fontsize=fontsize)
    ax.set_ylabel('y-label', fontsize=fontsize)
    ax.set_title('Title', fontsize=fontsize)

fig, ((ax1, ax2), (ax3, ax4)) = plt.subplots(nrows=2, ncols=2)
fig.set_size_inches(5,5)
example_plot(ax1)
example_plot(ax2)
example_plot(ax3)
example_plot(ax4)
fig.tight_layout()
"si on veut un miste en page moins 'tight' "
#fig.tight_layout(pad=0.4, w_pad=4, h_pad=2)
"le mot 'pad' signiife 'padding' (=espacement)";
```



1.3 La syntaxe implicite

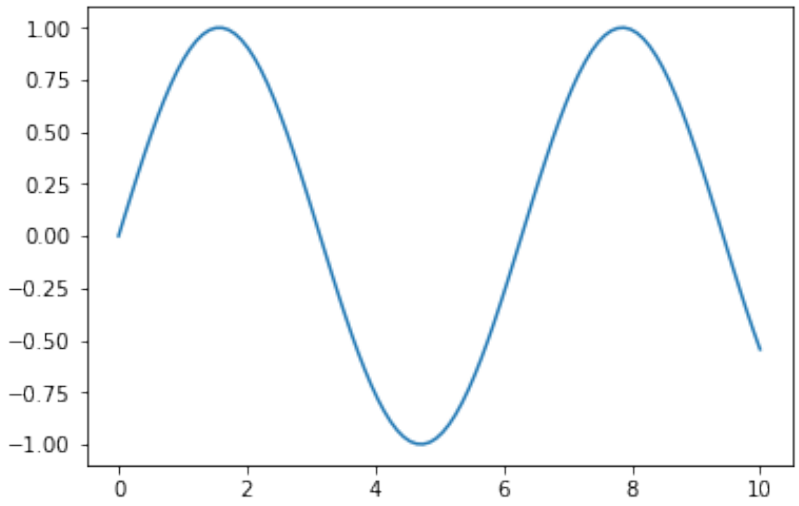
Cette syntaxe implicite est très utilisée mais elle est en voie d'obsolécence. Le mot 'implicite' vient du fait que l'on ne nome pas explicitement la figure `fig` et les boites graphiques `ax`.

```
"""les données"""
x=np.linspace(0,10,100)
y=np.sin(x)
```

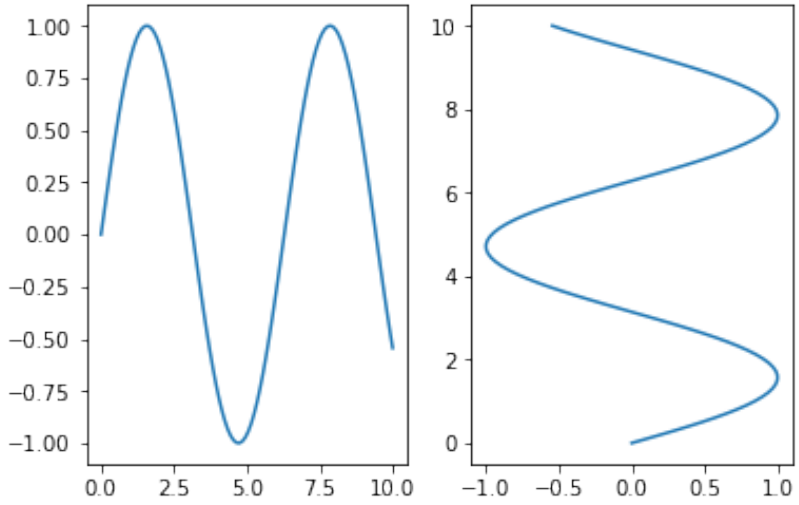
1.3.1 une syntaxe parfois plus courte

```
"quand on fait un seul graphique, la syntaxe implicite est plus courte :
    "
plt.plot(x,y) ;
"au lieu de"
# fig,ax=plt.subplots()
# ax.plot(x,y)
```

```
Out[12]: 'au lieu de'
```




```
""" avec plusieurs graphique c'est kif kif """
plt.subplot(1,2,1)
plt.plot(x,y)
plt.subplot(1,2,2)
plt.plot(y,x) ;
```



1.3.2 Où sont les figures et boites-graphiques ?

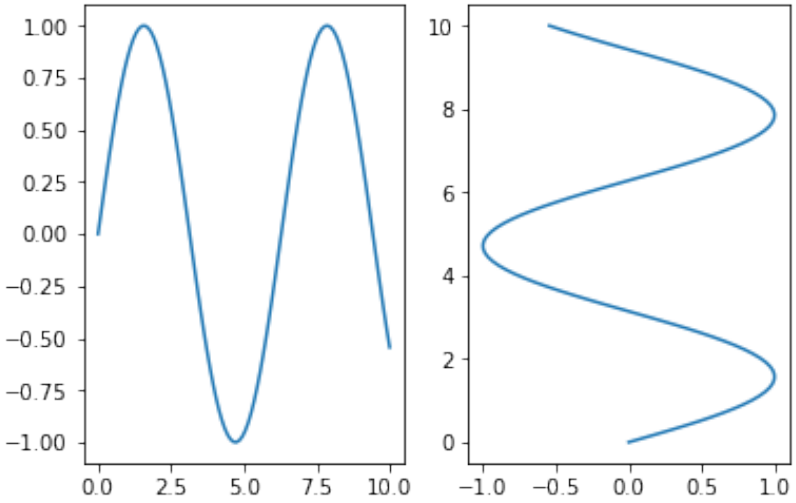
Cette partir est un peu technique. Lisez-là si vous voulez comprendre le lien entre la syntaxe implicite et explicite.

En implicite, une figure courante est automatiquement crée. Puis quand on écrit `plt.subplot(1,2,1)` une boite graphique courante est automatiquement crée. On peut récupérer la figure courante avec `plt.gcf()` et la boite graphique courante avec `plt.gca()` ou bien comme le résultat de `plt.subplot(1,2,1)`. La preuve :

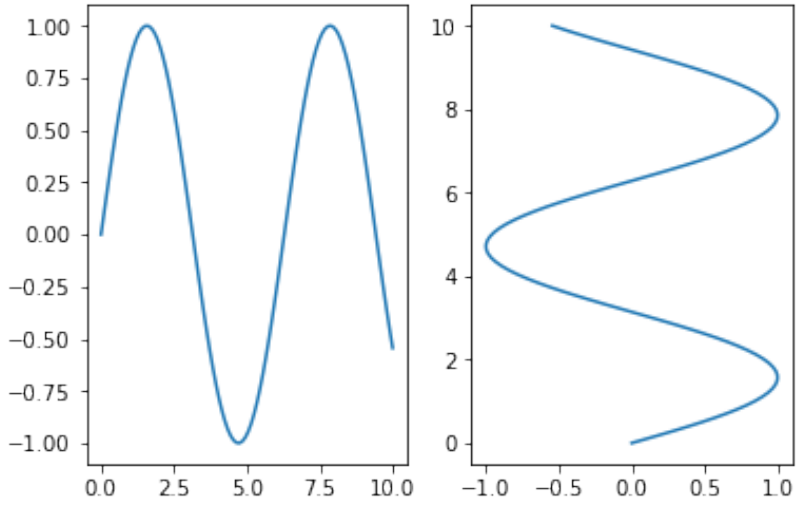
```
aa=plt.subplot(1,2,1)
plt.plot(x,y)

fig1=plt.gcf() #-> figure
ax1=plt.gca() #-> boite (=axes)
```

```
plt.subplot(1,2,2)
plt.plot(y,x)

fig2=plt.gcf() #-> figure
ax2=plt.gca() #-> boite (=axes)

print("ax1 is ax2 :",ax1 is ax2)
print("aa is ax1 :",aa is ax1)
print("fig1 is fig2 :",fig1 is fig2)
```

```
ax1 is ax2: False
aa is ax1: True
fig1 is fig2: True
```




```
"en syntaxe explicite les choses sont plus explicite !"
fig,(ax1,ax2)=plt.subplots(1,2)
ax1.plot(x,np.sin(x))
ax2.plot(np.sin(x),x) ;
```



1.3.3 attention, variation de syntaxe (Grrrr)

La syntaxe implicite permet de changer directement les options de la boite-graphique courante. Exemple :

— `plt.legend()` : pour que les labels s'affichent.

— `plt.ylim()` : limite les ordonnées
— `plt.xticks()` : les graduations en x
— `plt.yticks()` : les graduations en y

Ce qui est l'équivalent de :

— `ax.legend()`

— `ax.set_ylim()`
— `ax.set_xticks()`
— `ax.set_yticks()`

Et il y a plein de gag, par exemple pour fixer les graduation et le nom des graduation on fait`plt.xticks([1,2,3],["un","deux","trois"])` en implicite alors qu'on fait `ax.xticks([1,2,3])` et `ax.set_xtickslabel(["un","deux","trois"])` en explicite.

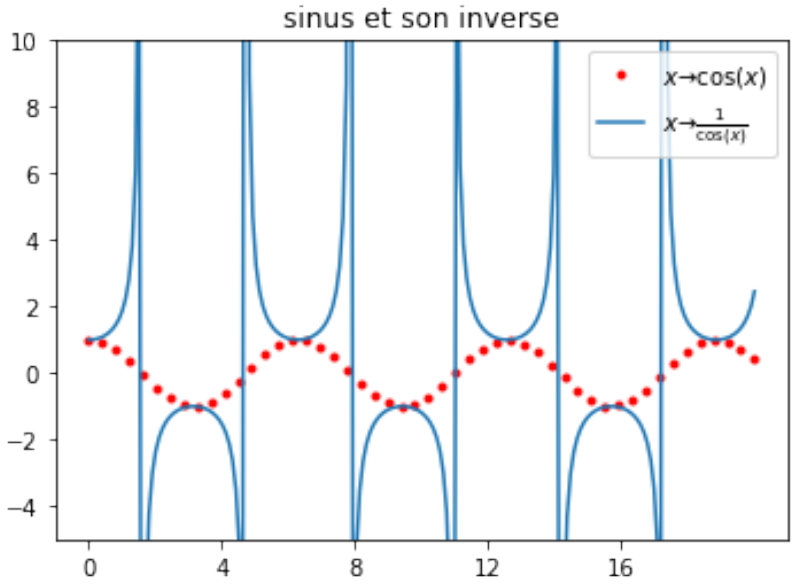
Ces variation sont très pénibles : même sur l'aide officielle ils utilisent un coup la syntaxe implicite, un coup l'explicite.

1.4 Les courbes

Assez parler de la forme, parlons du contenu !

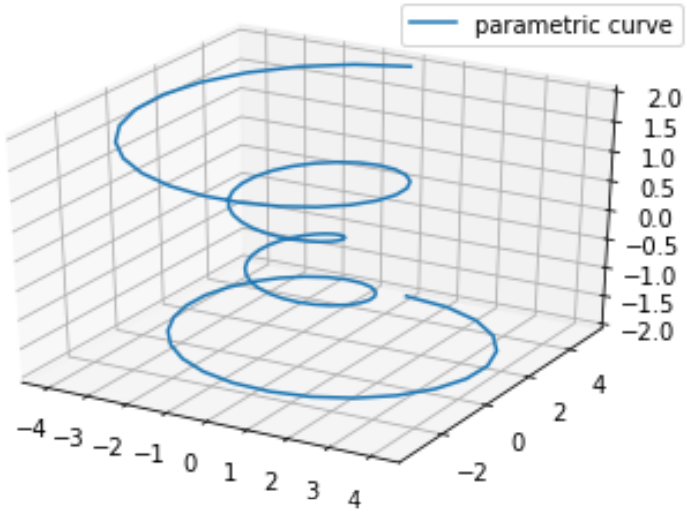
1.4.1 Une exemple complet

```
x=np.linspace(0,20,200)
x_=np.linspace(0,20,50)

fig,ax=plt.subplots() # une figure, une seule case.

ax.plot(x_,np.cos(x_),"r.",label=r"$x \to \cos(x)$")
ax.plot(x,1/np.cos(x),label=r"$x \to \frac {1}{\cos(x)}$")

ax.set_aspect("equal") #même échelle en abscisse et en ordonnée
ax.set_ylim([-5,10]) #limitation des ordonnées
ax.set_xticks(np.linspace(0,20,5,endpoint=False)) #graduations
ax.set_title("sinus et son inverse")
ax.legend() ;
```



1.4.2 Courbe 3D

```
"cet import est necessaire même si le mot clef 'Axes3D' n'apparait pas
    ensuite. "
from mpl_toolkits.mplot3d import Axes3D

fig = plt.figure()
ax = fig.add_subplot(1,1,1, projection='3d')

theta = np.linspace(-4 * np.pi, 4 * np.pi, 100)
z = np.linspace(-2, 2, 100)
r = z**2 + 1
x = r * np.sin(theta)
y = r * np.cos(theta)
ax.plot(x, y, z, label='parametric curve')
ax.legend() ;
```



1.4.3 les argument principaux de la méthode .plot()

1/ Arguments obligatoires

— x : la listes des abscisses

— y : la liste des ordonnées

2/ L'argument qui défini le style de trait. Que l'on met toujours en troisème position. Mais il est facultatif.

— Cela peut-être une couleur, mais si on ne la précise pas, la couleur change à appel de `ax.plot()`
  — `"r"` : *r*ed
  — `"k"` : blac*k*
  — `"b"` : *b*lue
— Cela peut-être un symbole, ex :
  — `"."` : des petits points
  — `"o"` : des gros points
  — `"o-"` : des gros points et en trait plein
— Cela peut-être un mélange, ex :
  — `"r."` : des petits points red
  — `"ko"` : des gros points black
  — `"go-"` : devinez !

3/ Arguments facultatifs

— `label=` : une chaine de caractére associée à chaque courbe. Ne pas oublié d'appeler `ax.legend()` pour que les labels s'affichent
— `lw=2` : épaisseur du trait (=lineWidth)

1.5 ticks, labels et texte

toto

— `ax.legend()` : pour que les labels s'affichent

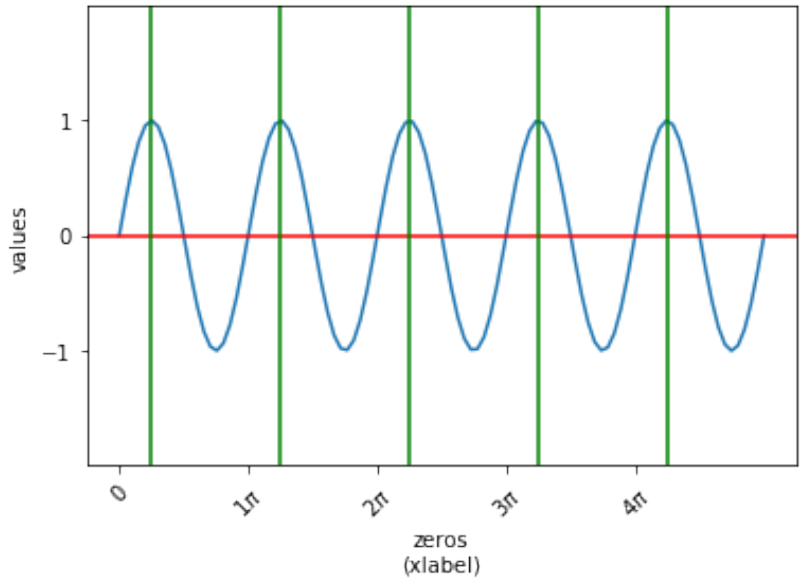
— `ax.set_ylim()` : limite les ordonnées
— `ax.set_xticks()` : les graduations en `x`
— `ax.set_yticks()` : les graduations en `y`

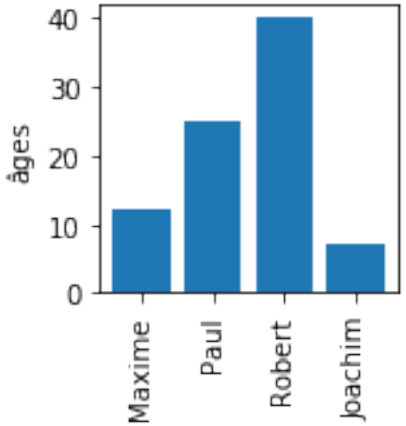
1.5.1 Latex

On peut utiliser latex dans toutes les textes de matplotlib, mais attention à la syntaxe : `r"$...$"`. Le `r` devant les guillemets signifie `raw`, et cela indique à python de ne pas interpréter les catactères spéciaux.

1.5.2 Exemples complets

```
"données"
right=10*np.pi
x=np.linspace(0,right,100)
y=np.sin(x)
pis=np.arange(0,right,2*np.pi)
maxis=pis+np.pi/2

"plot"
fig,ax=plt.subplots()
ax.plot(x,y)

"ticks"
xticks_text=["0"]
for i in range(1,len(pis)) : xticks_text.append(str(i)+r"$\pi$")
ax.set_xticks(pis)
ax.set_xticklabels(xticks_text,rotation=45)
ax.set_yticks([-1,0,1])
#version implicite :
# plt.xticks(maxis,xticks_text)

"label"
ax.set_xlabel("zeros\n(xlabel)")
ax.set_ylabel("values")
ax.set_ylim(-2,2)
ax.axhline(0.,c="r")
for x in maxis : ax.axvline(x,c="g")
#plt.title("test line spacing for multiline text")
```






```
ages=[12,25,40,7]
names=["Maxime","Paul","Robert","Joachim"]
"plot"
fig,ax=plt.subplots()
fig.set_size_inches(2,2)
ax.bar([1,2,3,4],ages)
ax.set_xticks([1,2,3,4])
ax.set_xticklabels(names,rotation=90)
ax.set_ylabel("âges")
```

```
Out[19]: Text(0,0.5,'âges')
```

1.6 Surface : en niveaux de couleurs ou en 3D

Pour observer le graphe d'une fonction de $\mathbb{R}^2$ dans $\mathbb{R}$, on peut faire un graphique en 3d (cf. plus bas). Mais personnellement je trouve que les tracés en niveau de couleur sont beaucoup plus clair : la couleur remplace la troisème dimmension.

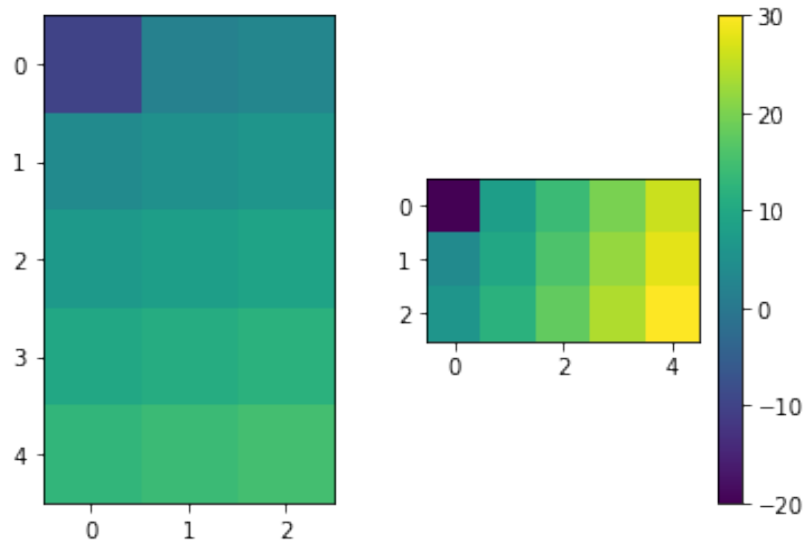
1.6.1 Afficher une matrice

Par défaut : l'echelle des couleurs va du bleu foncé au jaune clair.

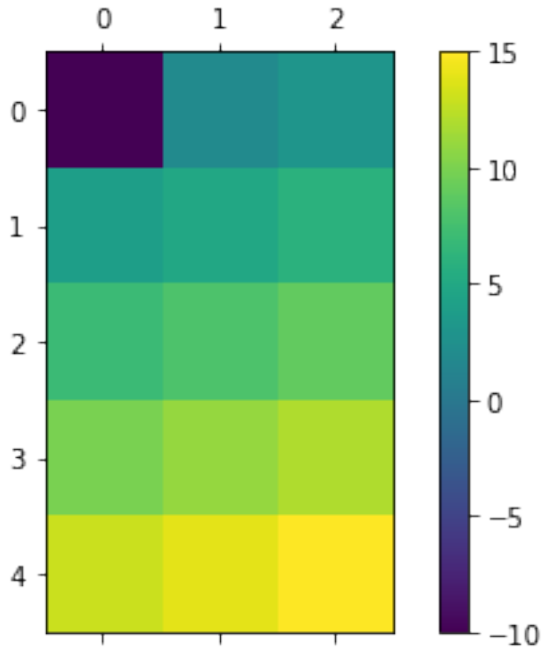
Conseil : dès que vous avez plusieurs boites-graphiques, précisez à la main l'échelle de couleur.

```
M=np.array([[-10,2,3],[4,5,6],[7,8,9],[10,11,12],[13,14,15]])
print(M)

fig,ax=plt.subplots(1,2)
img0=ax[0].imshow(M,vmin=-20, vmax=30) # on précise l'échelle de couleur
img1=ax[1].imshow(2*M.T,vmin=-20, vmax=30)

"""Attention, il faut passer le résultat de imshow() en argument de
    colorbar(). """
fig.colorbar(img0) ; #on aurait pu mettre `img1` : cela ne change rien
    quand on précise vmin et vmax
```

```
[[-10   2   3]
 [  4   5   6]
 [  7   8   9]
 [ 10  11  12]
 [ 13  14  15]]
```




```
""" une variante  : dans certaines version de matplotlib,
ax.imshow() lisse les carrés automatiquement, mais pas ax.matshow() """
fig,ax=plt.subplots()
img=ax.matshow(M)
fig.colorbar(img) ; #on n'a pas préciser vmin et vmax, se sera le min et
    le max de la matrice
```

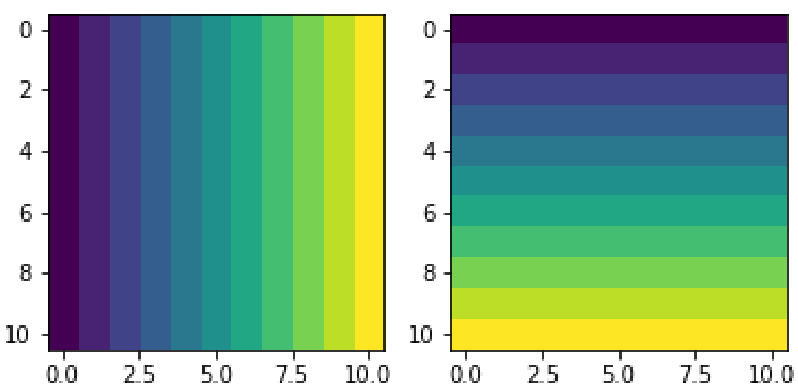


1.6.2 Afficher le graphe d'une fonction

Maintenant on va voir comment on crée le graphe d'une fonction de $\mathbb{R}^2$ dans $\mathbb{R}$. On commence par crée deux matrices où l'on répette les abscisses et les ordonnées.

```
x=np.linspace(0,2,11)
y=np.linspace(1,2,11)

XX,YY=np.meshgrid(x,y)

print("XX\n",XX)
print("YY\n",YY)

fig,ax=plt.subplots(1,2)
ax[0].imshow(XX) ;
ax[1].imshow(YY) ;
```

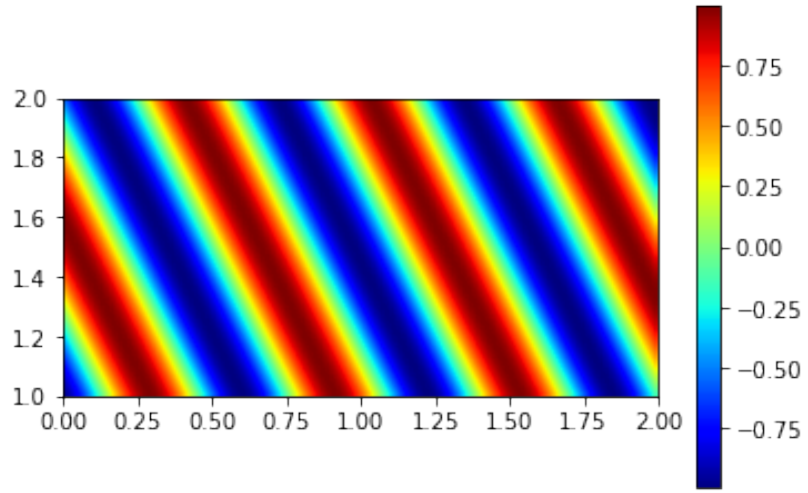
```
XX
 [[0.  0.2 0.4 0.6 0.8 1.  1.2 1.4 1.6 1.8 2. ]
 [0.  0.2 0.4 0.6 0.8 1.  1.2 1.4 1.6 1.8 2. ]
 [0.  0.2 0.4 0.6 0.8 1.  1.2 1.4 1.6 1.8 2. ]
 [0.  0.2 0.4 0.6 0.8 1.  1.2 1.4 1.6 1.8 2. ]
 [0.  0.2 0.4 0.6 0.8 1.  1.2 1.4 1.6 1.8 2. ]
 [0.  0.2 0.4 0.6 0.8 1.  1.2 1.4 1.6 1.8 2. ]
 [0.  0.2 0.4 0.6 0.8 1.  1.2 1.4 1.6 1.8 2. ]
 [0.  0.2 0.4 0.6 0.8 1.  1.2 1.4 1.6 1.8 2. ]
 [0.  0.2 0.4 0.6 0.8 1.  1.2 1.4 1.6 1.8 2. ]
 [0.  0.2 0.4 0.6 0.8 1.  1.2 1.4 1.6 1.8 2. ]
 [0.  0.2 0.4 0.6 0.8 1.  1.2 1.4 1.6 1.8 2. ]]
YY
 [[1.  1.  1.  1.  1.  1.  1.  1.  1.  1.  1. ]
 [1.1 1.1 1.1 1.1 1.1 1.1 1.1 1.1 1.1 1.1 1.1]
 [1.2 1.2 1.2 1.2 1.2 1.2 1.2 1.2 1.2 1.2 1.2]
 [1.3 1.3 1.3 1.3 1.3 1.3 1.3 1.3 1.3 1.3 1.3]
 [1.4 1.4 1.4 1.4 1.4 1.4 1.4 1.4 1.4 1.4 1.4]
 [1.5 1.5 1.5 1.5 1.5 1.5 1.5 1.5 1.5 1.5 1.5]
 [1.6 1.6 1.6 1.6 1.6 1.6 1.6 1.6 1.6 1.6 1.6]
 [1.7 1.7 1.7 1.7 1.7 1.7 1.7 1.7 1.7 1.7 1.7]
 [1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8]
 [1.9 1.9 1.9 1.9 1.9 1.9 1.9 1.9 1.9 1.9 1.9]
 [2.  2.  2.  2.  2.  2.  2.  2.  2.  2.  2. ]]
```



Ensuite, on utilise nos tableaux d'abscisse et d'ordonnées `XX` et `YY` comme si c'était les variables de la fonction $F(x,y)$ que l'on veut tracer. Observez, puis analyser pourquoi cela fonctionne. Dans le code ci-dessous on utilise aussi des options itérésentent de `plt.imshow()` :

- `origin='lower'` : pour mettre l'origine en bas comme on aime en math. Attention, par défaut `origin='upper'` : car c'est la convention classique des écrans.
- `extent=[x_min,x_max,y_min,y_max]` : permet de préciser l'échelle
- `cmap='jet'` :
  - `=coolwarm` : l'échelle des couleur étant une échelle de 'chaleur'
  - `=jet` : (ma préféré) ; aussi une échelle de 'chaleur', plus artificielle, mais avec plus de contrastes.
  - `=grey` : en niveau de gris
- `vmin=..., vmax=...` : l'échelle des couleurs. Par défaut `vmin=max(data)`, `vmax=min(data)`
- `interpolation=...`
  - `=nearest` : Chaque case de la matrice est représentée par un carré. C'est l'option par défaut sauf dans certaines versions :-(
  - `='bilinear'` : l'image est lissée.

```
x_min=0
x_max=2
y_min=1
y_max=2
x = np.linspace(x_min, x_max, 100)
y = np.linspace(y_min, y_max, 50)
XX,YY= np.meshgrid(x,y)

F=np.sin(10*XX+5*YY)

"""
On utilise trois options inté
attention, par défaut origin='upper'  : l'origine est en haut à gauche
    """
fig,ax=plt.subplots()
img=ax.imshow(F,origin='lower',extent=[x_min,x_max,y_min,y_max],cmap='
    jet',interpolation='bilinear')
fig.colorbar(img);
```



A vous : Augmentez ou diminuer la résolution de l'image (=le nombre de points dans `np.linspace()`). Pourquoi cela ne change pas l'aspect ? Qu'elle option de `imshow()` faut-il changer pour que les différences de résolution apparaissent ?

A vous : Tracez le graphe des fonctions

— $(x, y) \to \|(x, y)\|_2$ (la norme euclidienne)

— $(x, y) \to \|(x, y)\|_\infty$ (la norme infinie)

— $(x, y) \to \|(x, y)\|_1$ (la norme 1)

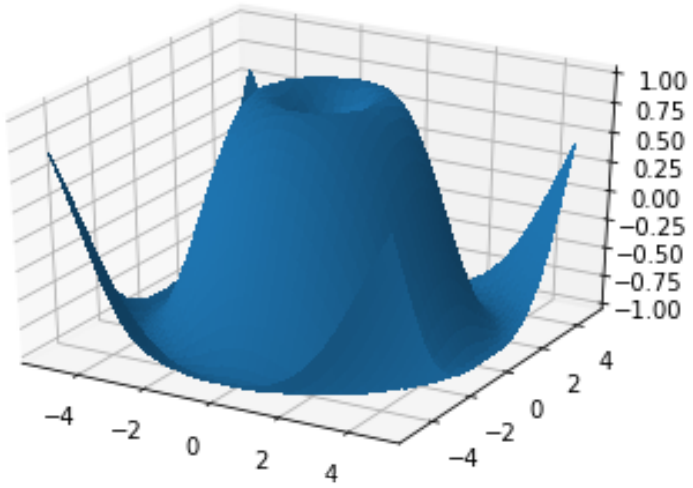
On choisira le domaine pour que l'on puisse observer les boulles unités associées à chacune de ces normes.

```
"""Aide  : Vous aurez besoin d'extraire le maximum. Deux possibilité
    pour cela :
Maximum terme à terme entre deux listes"""
print(np.maximum([1,2],[0,3]))
"""Maximum d'une liste"""
print(np.max([1,2,3,4]))
```

```
[1 3]
4
```

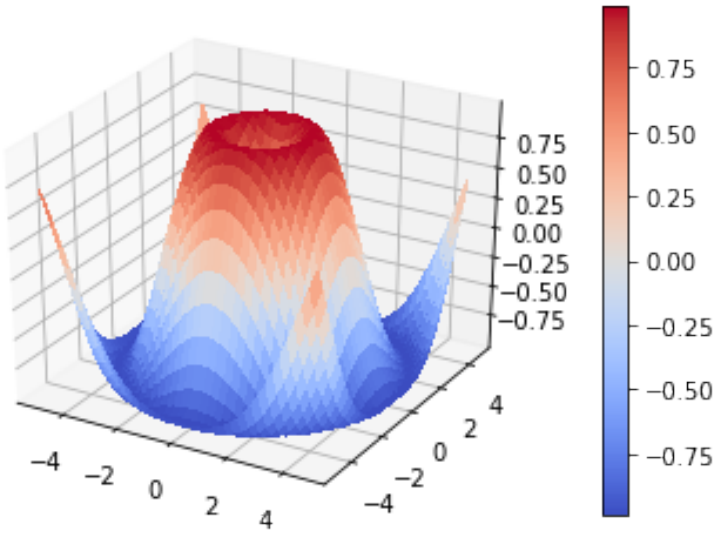
1.6.3 Surface en 3D

```
"""cet import est important même si on ne voit nulle part apparaitre '
    Axes3D' """
from mpl_toolkits.mplot3d import Axes3D

fig = plt.figure()
ax = fig.add_subplot(1,1,1, projection='3d')

"""Données"""
X = np.arange(-5, 5, 0.25)
Y = np.arange(-5, 5, 0.25)
X, Y = np.meshgrid(X, Y)
R = np.sqrt(X**2 + Y**2)
Z = np.sin(R)

"""antialiased=True (option par défaut, rend le tracé moche)"""
surf = ax.plot_surface(X, Y, Z, antialiased=False)
ax.set_zlim(-1.01, 1.01);
```



1.6.4 Couleur et 3D

```
fig = plt.figure()
ax = fig.add_subplot(1,1,1, projection='3d')
surf = ax.plot_surface(X, Y, Z, antialiased=False,cmap="coolwarm")
fig.colorbar(surf) ;
```



1.7 Scatter

Un scatter-plot c'est un graphique dont les points ne sont pas reliés. Les points peuvent être représenté par des rond, des croix, des triangles etc. Remarquons que la méthode `.plot(x,y,"o")` effectue déjà un scatter-plot. Cependant la méthode `.scatter()` permet plus de souplesse, notamment cette de faire varier les rayons et les couleurs des points.

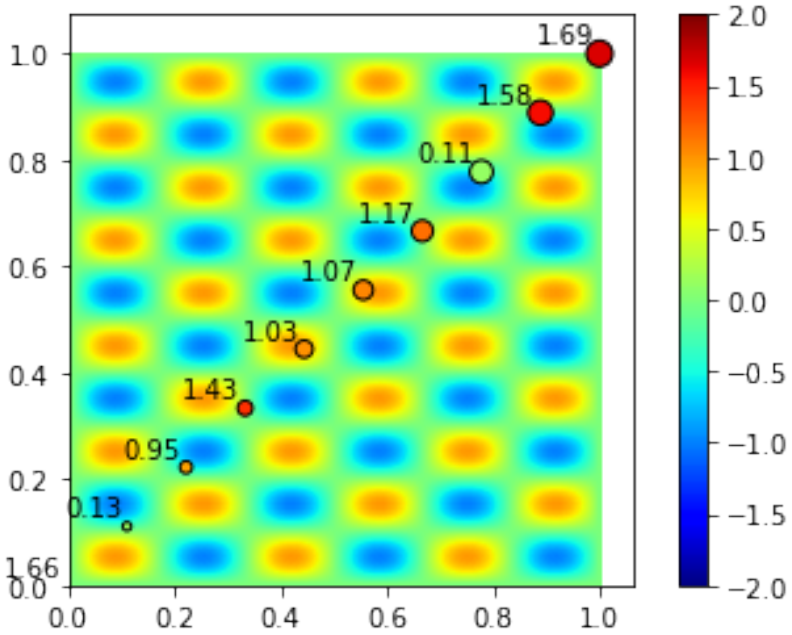
1.7.1 Un exemple complexe

Effectuons tout de suite un exercice difficile. Nous voulons :

— une image représentant une fonction en niveau de couleur
— sur laquelle se superpose un scatter (=des points répartis sur le plan)
— on veut associé à chaque point une valeur numérique
— que ces points soient colorée en fonction de leur valeur numérique
— on veut que les échelles des couleurs du scatter et de l'image soient cohérantes

```
x=np.linspace(0,1,100)
y=x=np.linspace(0,1,100)
XX,YY=np.meshgrid(x,y)
nu1,nu2=3,5

def Fonc(x,y) :
    return np.sin(2*np.pi*nu1*x)*np.sin(2*np.pi*nu2*y)

F=Fonc(XX,YY)

""" L'altitude maxi et min commune aux deux graphiques """
zmin=-2
zmax=2
fig,ax=plt.subplots()
img=ax.imshow(F,
          interpolation='bilinear',
          #aspect='auto',# avec aspect='auto' le repére n'est plus
              orthonormé
          extent=[0,1,0,1], #pour préciser les bornes
          cmap='jet',
          norm=plt.Normalize(vmin=zmin, vmax=zmax),
          origin="lower",
                    )

xs=np.linspace(0,1,10)
ys=np.linspace(0,1,10)
values=np.random.uniform(0,2,len(xs))

ax.scatter(
    xs, #abscisse
    ys,#ordonnées
    marker='o', #forme
    s=xs*100,  #rayon
    c=values,  # valeur numérique pour la couleur
    cmap='jet', #color map
    edgecolors="k",
    norm=plt.Normalize(vmin=zmin, vmax=zmax) #l'echelle des couleurs
)


labels=[]
for value in values :
```

```
    labels.append("%.2f"%value)

for label, x, y in zip(labels, xs, ys) :
    ax.annotate(
        label,
        xy=(x, y), # positionnement
        xytext=(-2, 2), #décallage de la boite texte
        textcoords='offset points', #sinon c'est nimp
        ha='right', va='bottom' #mise en page du texte
    )

fig.colorbar(img) ;
```



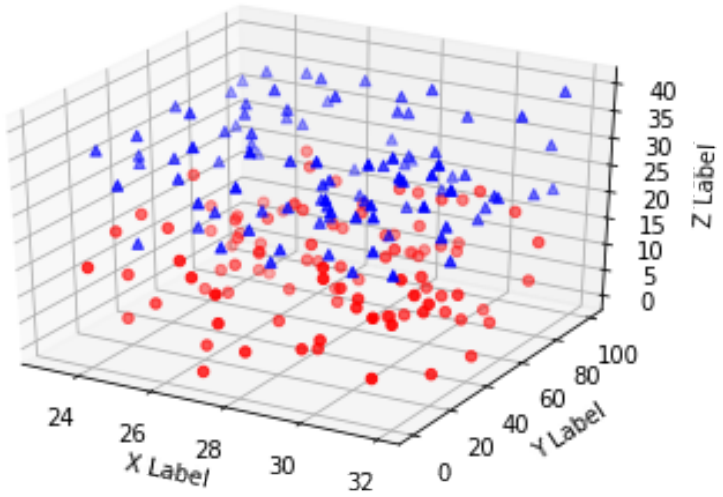
Exo : Comment faut-il modifier `values` pour que les rond aient la même couleur que le fond ?

Exo : Modifiez ce programme pour qu'il y ait un rond par extrémum local, et que la valeur associé à chaque rond soit deux fois la valeur de l'extrémum local. Pour que le graphique soit plus joli vous mettrez tous les ronds avec le même rayon et vous supprimerez les annotations. Aide : se serait bête (et dur) de calculer numériquement ces extréma locaux !

1.7.2 Scatter en 3D

C'est un type de graphique vraiment peu clair.

```
fig = plt.figure()
ax = fig.add_subplot(1,1,1, projection='3d')

n = 100
def randomPoint(maker,color,z_low,z_high) :
    xs = np.random.uniform(size=n,low=23,high=32)
    ys = np.random.uniform(size=n,low=0,high=100)
    zs = np.random.uniform(size=n,low=z_low,high=z_high)
    ax.scatter(xs, ys, zs, c=color, marker= maker)

randomPoint("o","r",0,20)
randomPoint("^","b",20,40)

ax.set_xlabel('X Label')
ax.set_ylabel('Y Label')
ax.set_zlabel('Z Label') ;
```



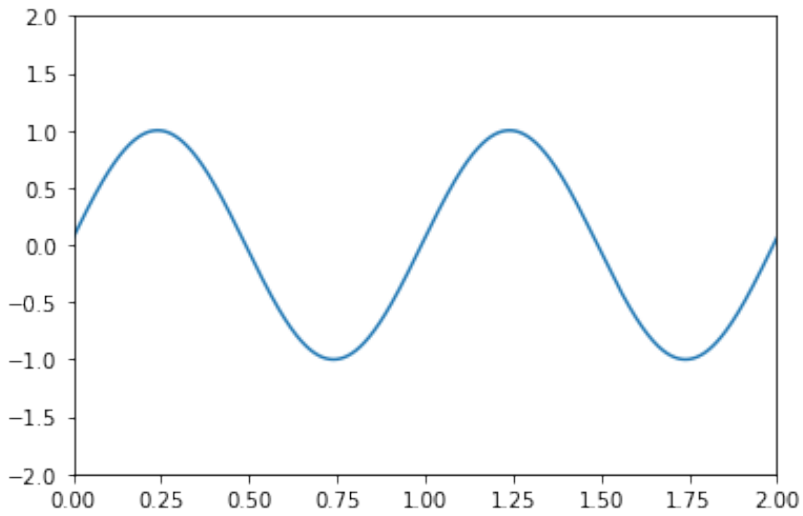
1.8 Animation

Un peu complexe, mais impressionnant.

1.8.1 Exemple ici

```
from matplotlib import animation, rc
from IPython.display import HTML

fig, ax = plt.subplots()
ax.set_xlim(( 0, 2))
ax.set_ylim((-2, 2))
""" ax.plot() renvoie un couple. On récupère le premier élément.
On fait un graphique vide """
line, = ax.plot([], [])


""" fonction d'animation. Elle est lancée toutes les "frame".
Son argument 'i' c'est le numéro de la frame"""
def animate(i) :
    x = np.linspace(0, 2, 1000)
    y = np.sin(2 * np.pi * (x - 0.01 * i))
    line.set_data(x, y)
    return (line,)

""" On crée l'animation.
blit=True signifie qu'on ne retrace que la partie ayant changée
interval=20  : on trace une frame toutes les 20 ms
frames=100  : on trace 100 frames avant de boucler
"""
anim = animation.FuncAnimation(fig, animate,frames=100, interval=20,
    blit=True)
HTML(anim.to_html5_video())
```

Out[29]: <IPython.core.display.HTML object>



1.8.2 Exemples d'animations sur le net

Si voulez voir de belle animations, jetez un oeil à ceci : [https ://jakevdp.github.io/blog/2012/08/18/matplotlib-animation-tutorial/]. Vous y trouverez

— La modélisation d'un double pendule
— La modélisation d'un ensemble de particules soumise à des colisions

1.9 Annexes

1.9.1 Matplotlib sans jupyter

si vous faites tournez ces programmes en dehors d'un notebook (=en python ordinaire), et si vous n'oubliez pas la commande `plt.show()` qui fait apparaitre la fenêtre graphique, alors les figures ci-dessous seront manipulables à la souris.

1.9.2 la complétion automatique pour trouver les bons argumenst

Elle permet la complétions automatique : écrivez `ax=fig.add_subplot(1,2,1)` puis `ax.set_` et appuyez sur la touche tabulation, vous verrez toutes les méthodes commençant par `set_` apparaitre. La variante de la seconde méthode permet aussi la

1.9.3 Matplotlib et pandas

1.9.4 Bibliothèques concurentes