Python_et_numpy_avance

October 5, 2023

1 Python

1.1 Les ensembles

- Comme en mathématiques : un ensemble ne contient pas deux fois le même élément
- Union |, intersection &
- Avec les tableaux numpy, il existe le fonction np.unique

[45]:
```
s1 = {1, 3, 4}
s2 = {1, 6, 8}
print(s1|s2)
print(s1&s2)
```

```
{1, 3, 4, 6, 8}
{1}
```

[46]:
```
set([1, 2, 3, 4, 3, 2, 1])
```

[46]:
```
{1, 2, 3, 4}
```

[52]:
```
data = "Comme en mathématiques : un ensemble ne contient pas deux fois le même␣
 ↪élément"

s = set(data)
s
```

[52]:
```
{' ',
 ':',
 'C',
 'a',
 'b',
 'c',
 'd',
 'e',
 'f',
 'h',
 'i',
 'l',
```

```
 'm',
 'n',
 'o',
 'p',
 'q',
 's',
 't',
 'u',
 'x',
 'é',
 'ê'}
```

[57]:
```
a = np.array([2, 1, 3, 3, 4, 5, 2, 3])
np.unique(a)
```

[57]:
```
array([1, 2, 3, 4, 5])
```

[ ]:
```

```

1.2 Les n-uplets (tuples)

- Comme les listes sauf que l'on ne peut pas les modifier
- Défini avec des ()
- Utilisé pour regrouper un nombre connu de données : (x, y, z)
- Utilisé lorsqu'une fonction renvoie plusieurs valeurs

[ ]:
```
a = (1, 2, 3)
print(a[1])
```

[62]:
```
def ma_fonction():
    return 1, 2, 3

a, b, c = ma_fonction()

a = ma_fonction()
print(type(a))
print(a[1])
```

```
<class 'tuple'>
2
```

[ ]:
```
a, b, c = (1, 2, 5)
print(b)
```

[ ]:
```
# Tuple de taille 0
()
# Tuple de taille 1
```

```
(1,)
```

1.3 Les dictionnaires

- Conteneur (comme les listes ou tuple)
- Le contenu est indéxé par une clé qui est en général un nombre ou une chaine de caractère
- Explicit is better than implicit (paramètre ou résultat d'une expérience)
- Utilisation dans les fonctions

[64]:
```
parametres = {"N":100, 'l':30, "h":50, "g":9.81, 'm':0.1}
print(parametres['N'])
```

```
100
```

[65]:
```
# Boucle for sur un dictionnaire
for key, val in parametres.items():
    print(f'La valeur de {key} est {val}')
```

```
La valeur de N est 100
La valeur de l est 30
La valeur de h est 50
La valeur de g est 9.81
La valeur de m est 0.1
```

[66]:
```
# Liste de dictionnaire
personne_1 = {"nom":"Dupont", "age":13}
personne_2 = {"nom":"Dubois", "age":34}

annuaire = [personne_1, personne_2]

for personne in annuaire :
    print(f"{personne['nom']} a {personne['age']} ans.")
    #print('{} a {} ans'.format(personne['nom'], personne['age']))
```

```
Dupont a 13 ans.
Dubois a 34 ans.
```

[ ]:
```

```

1.4 Les fonctions

Nombre arbitraire d'arguments (tuple et dictionnaire)

[1]:
```
def f(a, b, c):
    print(a, b, c)

f(1, c=2, b=3)
```

```
1 3 2
```

[2]:
```
g = f
g.__name__
```

[2]:
```
'f'
```

[ ]:
```
[f]
```

[70]:
```
p = (2, 3)
f(1, *p)
```

```
1 2 3
```

[79]:
```
d = {'a':1, 'c':2}
f(b=3, **d)
```

```
1 3 2
```

[87]:
```
def f(a, *args, **kwd):
    print(a, args, kwd)

f(1, 2, 3, 4)
f(1, 2, 3, m=4, l=5)
f(a=3, m=4, l=5)
```

```
1 (2, 3, 4) {}
1 (2, 3) {'m': 4, 'l': 5}
3 () {'m': 4, 'l': 5}
```

[88]:
```
parametres = {'a':1, 'c':2}
f(**parametres)
```

```
1 () {'c': 2}
```

[89]:
```
import numpy as np

parametres_pendule = {"m":100, 'l':30, "g":9.81}
def periode(l, g, **kwd):
    return 2*np.pi*np.sqrt(l/g)

periode(**parametres_pendule)
```

[89]:
```
10.987679728847352
```

[ ]:
```

```

1.4.1 Fonctions anonymes

`lambda arg1, arg2 : expr`

[3]:
```
f = lambda a, b, c:a+b+c
f(1, 2, 3)
```

[3]: 6

[4]:
```
(lambda a, b, c:a+b+c)(1, 2, 3)
```

[4]: 6

[ ]:
```
# integrale(f, a, b, N_step)
# integrale(lambda x: exp(-x**2), 0, 1, 100)
```

2 Modules en Python

- Les modules sont des fichiers dont on peut importer les objets (en général des fonctions) qui y sont définis.
- Un module peut contenir d'autre modules
- Modules standards (ex: math)

[5]:
```
from math import exp
exp(2.1)
```

[5]: 8.166169912567652

[6]:
```
import math
math.exp(1)
```

[6]: 2.718281828459045

[8]:
```
# Syntaxe à éviter
from math import *
from numpy import *
sin(pi/4)
```

[8]: 0.7071067811865476

[14]:
```
np.acos(np.array([1, 2]))
```

```
---------------------------------------------------------------------------
AttributeError                            Traceback (most recent call last)
<ipython-input-14-e2b177d7b2db> in <module>
----> 1 np.acos(np.array([1, 2]))

~/.local/lib/python3.8/site-packages/numpy/__init__.py in __getattr__(attr)
```

```
    309             return Tester
    310
--> 311         raise AttributeError("module {!r} has no attribute "
    312                              "{!r}".format(__name__, attr))
    313

AttributeError: module 'numpy' has no attribute 'acos'
```

[7]:
```
# Donner un nom plus simple
# Eviter sauf si tout le monde le fait
import numpy as np
```

3 Langage orienté objet

- Tout en Python est object
- Un objet contient des données
- La classe d'un objet défini ce qu'est l'objet
- La classe défini des fonctions qui permettent d'utiliser les données de l'objet ou de le modifier. Ce sont des méthodes

Exemples : * liste, nombre complexe * Tableaux numpy * Oscilloscope

[19]:
```
l = [5, 4, 1, 2]
l.insert(1, 'coucou') # modification de l'objet
print(l)
# l.index('coucou')
```

```
[5, 'coucou', 4, 1, 2]
```

[20]:
```
z = 1 + 2J
z.real # attribut de l'objet
z.conjugate() # methode qui renvoie un nouvel objet
```

[20]:
```
(1-2j)
```

[21]:
```
z
```

[21]:
```
(1+2j)
```

[23]:
```
print(l.insert(2, 'bonjour'))
```

```
None
```

[26]:
```
a = [1, 2, 3]
b = a
a.insert(0, 45)
print(a[0])
```

```
print(b[0])
```

```
45
45
```

[25]:
```
a = [1, 2, 4]
b = a
a = 'Bonjour'
print(a[0])
print(b[0])
```

```
B
1
```

[28]:
```
from math import pi
def f(la_liste):
    la_liste[0] = 13 + pi

l = [1, 2]
f(l)
l
```

[28]:
```
[13, 2]
```

3.1 Variables globales/locales

- Dans une fonction, une variable est soit globale soit locale
- Si on assigne un objet à une variable dans une fonction, elle est automatiquement locale
- Modifier une liste ne rend pas la liste locale
- L'instrution `global` ne doit **jamais** être utilisée (sauf cas exceptionels)

[29]:
```
x = 1

def f1():
    print(x)

f1()
x = 3
f1()
#def print(x):
#    None
```

```
1
3
```

[32]:
```
from math import sin, cos
def f(x):
    print(sin(x))
```

```
f(1)
sin = cos
f(1)
```

```
0.8414709848078965
0.5403023058681398
```

[33]:
```
def f2(x):
    print(x)
print(x)
f2(4)
```

```
3
4
```

[35]:
```
x = 3
def f3():
    x = 4
    print(x)
f3()
print(x)
```

```
4
3
```

[37]:
```
x = 2
def f4():
    print(x)
    x = 4
    print(x)
f4()
```

```
---------------------------------------------------------------------------
UnboundLocalError                         Traceback (most recent call last)
<ipython-input-37-1bfa6a49a868> in <module>
      4     x = 4
      5     print(x)
----> 6 f4()

<ipython-input-37-1bfa6a49a868> in f4()
      1 x = 2
      2 def f4():
----> 3     print(x)
      4     x = 4
      5     print(x)

UnboundLocalError: local variable 'x' referenced before assignment
```

Les variables globales doivent être constantes : * Constantes numériques * Autres objets : fonctions, modules, ...

[38]:
```
from math import sin, pi

def ma_fonction(x):
    if x==0:
        return 1
    return sin(pi*x)/(pi*x)
```

[ ]:
```

```

4 Les exceptions (erreurs)

- Il faut toujours lire et comprendre les erreurs
- En général python indique toujours l'endroit où se trouve l'erreur
- Sauf pour les "syntax error"

[39]:
```
from math import sqrt

sqrt(-1)
```

```
---------------------------------------------------------------------------
ValueError                                Traceback (most recent call last)
<ipython-input-39-eb80c803d6ae> in <module>
      1 from math import sqrt
      2
----> 3 sqrt(-1)

ValueError: math domain error
```

[40]:
```
l = [1, 2, 4]
l(1)
```

```
---------------------------------------------------------------------------
TypeError                                 Traceback (most recent call last)
<ipython-input-40-0642d5456545> in <module>
      1 l = [1, 2, 4]
----> 2 l(1)

TypeError: 'list' object is not callable
```

[41]:
```
def f(x):
    print(x)

```

```
f[1]
```

```
---------------------------------------------------------------------------
TypeError                                 Traceback (most recent call last)
<ipython-input-41-eaf288da1121> in <module>
      2     print(x)
      3
----> 4 f[1]

TypeError: 'function' object is not subscriptable
```

[42]:
```
def f(x):
    y = 2*x
     print(x)
```

```
  File "<ipython-input-42-ae826c11a736>", line 3
    print(x)
    ^
IndentationError: unexpected indent
```

[46]:
```
def f(x, y, z):
    return (x + y*(sin(x+z))*34

#            + 45 )

b = 2
```

```
  File "<ipython-input-46-64b203b3365b>", line 6
    b = 2
    ^
SyntaxError: invalid syntax
```

4.1 Créer sa propre erreur

- raise Exception('Un message')
- Ne pas utiliser print(message)
- try: except

[47]:
```
# On lance une balle à la vitesse v_0 vers le haut
# Calculer le temps pour arriver au plafond de hauteur h
from math import sqrt
def temps_arrivee(h, v_0, g=9.81):
    Delta = v_0**2 - 2*g*h
```

```
    if Delta<0:
        raise Exception("La balle ne touche pas le plafond")
    return (v_0 - sqrt(Delta))/g

print(temps_arrivee(h=1, v_0=10))
print(temps_arrivee(h=1, v_0=1))
```

```
0.10545470031833197
```

```
---------------------------------------------------------------------------
Exception                                 Traceback (most recent call last)
<ipython-input-47-d41ab9e67048> in <module>
      9
     10 print(temps_arrivee(h=1, v_0=10))
---> 11 print(temps_arrivee(h=1, v_0=1))

<ipython-input-47-d41ab9e67048> in temps_arrivee(h, v_0, g)
      5     Delta = v_0**2 - 2*g*h
      6     if Delta<0:
----> 7         raise Exception("La balle ne touche pas le plafond")
      8     return (v_0 - sqrt(Delta))/g
      9

Exception: La balle ne touche pas le plafond
```

[48]:
```
# On lance une balle à la vitesse v_0 vers le haut
# Calculer le temps pour arriver au plafond de hauteur h
from math import sqrt
def temps_arrivee(h, v_0, g=9.81):
    Delta = v_0**2 - 2*g*h
    if Delta<0:
        print("La balle ne touche pas le plafond")
#         raise Exception("La balle ne touche pas le plafond")
    else:
        return (v_0 - sqrt(Delta))/g

t = temps_arrivee(h=1, v_0=10)
print(2*t + 1)
#print(temps_arrivee(h=1, v_0=1))
t = temps_arrivee(h=1, v_0=1)
print(2*t + 1)
```

```
1.2109094006366639
La balle ne touche pas le plafond
```

```
---------------------------------------------------------------------------
TypeError                                 Traceback (most recent call last)
```

```
<ipython-input-48-f2880f6bcfc3> in <module>
     14 #print(temps_arrivee(h=1, v_0=1))
     15 t = temps_arrivee(h=1, v_0=1)
---> 16 print(2*t + 1)

TypeError: unsupported operand type(s) for *: 'int' and 'NoneType'
```

[49]:
```
from math import sqrt
def temps_arrivee(h, v_0, g=9.81):
    Delta = v_0**2 - 2*g*h
    try:
        return (v_0 - sqrt(Delta))/g
    except ValueError:
        raise Exception("La balle ne touche pas le plafond")
print(temps_arrivee(1, 10))
print(temps_arrivee(1, 1))
```

```
0.10545470031833197
```

```
---------------------------------------------------------------------------
ValueError                                Traceback (most recent call last)
<ipython-input-49-3a03f4968e75> in temps_arrivee(h, v_0, g)
      4     try:
----> 5         return (v_0 - sqrt(Delta))/g
      6     except ValueError:

ValueError: math domain error

During handling of the above exception, another exception occurred:

Exception                                 Traceback (most recent call last)
<ipython-input-49-3a03f4968e75> in <module>
      7         raise Exception("La balle ne touche pas le plafond")
      8 print(temps_arrivee(1, 10))
----> 9 print(temps_arrivee(1, 1))

<ipython-input-49-3a03f4968e75> in temps_arrivee(h, v_0, g)
      5         return (v_0 - sqrt(Delta))/g
      6     except ValueError:
----> 7         raise Exception("La balle ne touche pas le plafond")
      8 print(temps_arrivee(1, 10))
      9 print(temps_arrivee(1, 1))

Exception: La balle ne touche pas le plafond
```

[ ]:

5 Les fichiers

- Répertoire absolu et relatif
- Chemin d'accès
- Fichier texte (c'est une chaine de caractère)
- Lecture/écriture
- Format JSON

[50]:
```
!pwd
# Sous windows !cd => c:\Users\login\
```

```
/home/pierre/Enseignement/2023/Python1/cours/cours2
```

[51]:
```
filename = "/home/pierre/Enseignement/2023/Python1/cours/cours2/
 ↪Python_et_numpy_avance.ipynb"
filename = "Python_et_numpy_avance.ipynb"
```

[52]:
```
current_dir = "/home/pierre/Enseignement/2022/PythonENS/cours/cours2"
```

[53]:
```
# Chemin relatif
import os
print(os.listdir(current_dir))
#print(os.listdir('data/'))
print(os.listdir('../cours1'))
```

```
['Python_et_numpy_avance.ipynb', 'untitled.txt', 'test.json', 'data',
'.ipynb_checkpoints', 'test_python.txt']
['Bases de python et utilisation de numpy.ipynb', 'ma_figure.pdf',
'ma_figure.svg']
```

[ ]:
```

```

[ ]:
```

```

[54]:
```
file = 'data/test_python.txt'
fd = open(file, 'w')
fd.write('Bonjour\n')
fd.close()
```

[55]:
```
with open(file, 'a') as fd:
    fd.write('Au revoir')
```

[57]:
```
with open(file) as fd:
    print(fd.read())
```

```
Bonjour
Au revoir
```

[ ]:
```
with open(file) as fd:
    lines = fd.readlines()

for line in lines:
    print(line.strip()) # strip pour enlever le \n
```

[ ]:
```

```

5.1 JSON

- Permet d'enregistrer une liste ou un dictionnaire
- Fichier lisible par un humain

[61]:
```
import json

personne_1 = {"nom":"Dupont", "age":13}
personne_2 = {"nom":"Dubois", "age":34}

annuaire = [personne_1, personne_2]

file = 'test.json'
with open(file, "w") as f:
    json.dump(annuaire, f, indent=2)
```

[59]:
```
with open(file) as f:
    annuaire = json.load(f)
print(annuaire)
```

```
[{'nom': 'Dupont', 'age': 13}, {'nom': 'Dubois', 'age': 34}]
```

[ ]:
```

```

6 Numpy

[1]:
```
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
```

7 Tableaux nD

[6]:
```
a = np.array([[1,2], [3, 4]])
# l'index est un tuple
a
a[0, 1]
```

```
#a[(0, 1)]
```

[6]:
```
2
```

[9]:
```
x = np.random.rand(5, 5)
print(x)
```

```
[[0.44896538 0.66974977 0.53821711 0.57615746 0.08194611]
 [0.78903641 0.02560489 0.26720062 0.50950385 0.78355268]
 [0.42192165 0.17556142 0.40080314 0.2183728  0.03265151]
 [0.93833002 0.4835424  0.96206389 0.43382712 0.99247962]
 [0.08243995 0.99159993 0.54426793 0.37827489 0.61231135]]
```

[14]:
```
np.zeros([2, 4])
```

[14]:
```
array([[0., 0., 0., 0.],
       [0., 0., 0., 0.]])
```

[11]:
```
# Récupérer une colonne
x[:,0]
x[1:3, :-1]
```

[11]:
```
array([[0.78903641, 0.02560489, 0.26720062, 0.50950385],
       [0.42192165, 0.17556142, 0.40080314, 0.2183728 ]])
```

[12]:
```
x.shape
```

[12]:
```
(5, 5)
```

[ ]:
```
# méthode reshape
x = np.random.rand(25)
x.reshape((5, 5))
```

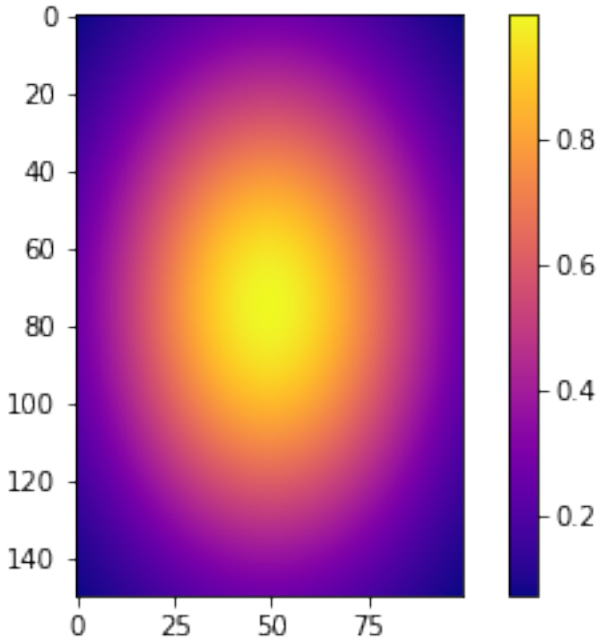
[16]:
```
# meshgrid
a, b = np.meshgrid([1, 2, 3], [7, 8, 9, 10])
print(a)
print(b)
```

```
[[1 2 3]
 [1 2 3]
 [1 2 3]
 [1 2 3]]
[[ 7  7  7]
 [ 8  8  8]
 [ 9  9  9]
 [10 10 10]]
```

[22]:
```
# Création d'une image 2D avec meshgrid

x = np.linspace(-.5, .5, 100)*4*np.pi
y = np.linspace(-.5, .5, 150)*4*np.pi
X, Y = np.meshgrid(x, y)
R = np.sqrt(X**2 + Y**2)
#plt.imshow((np.sin(Y)+np.cos(X))*np.exp(-R**2/30))
plt.imshow(np.exp(-R**2/30), cmap='plasma')
plt.colorbar()
```

[22]:
```
<matplotlib.colorbar.Colorbar at 0x7f89207834c0>
```



[ ]:
```
a = np.random.rand(3, 4, 2)
a
```

[ ]:
```
a.sum(axis=1)
```

[ ]:
```
a.sum(axis=(1, 2))
```

[ ]:
```

```

[27]:
```
x = np.random.rand(5, 3)
x
```

[27]:
```
array([[0.14373463, 0.23439261, 0.25924488],
       [0.19477976, 0.2866457 , 0.9013089 ],
       [0.02264623, 0.90387362, 0.46635957],
       [0.54645181, 0.75662366, 0.22234325],
       [0.12929755, 0.88166716, 0.62862056]])
```

[29]:
```
x.mean(axis=1)
```

[29]:
```
array([0.21245737, 0.46091145, 0.46429314, 0.50847291, 0.54652842])
```

8 Tableau dans la mémoire

- strides
- from numpy.lib.stride_tricks import as_strided

[ ]:
```
a = []
b = a
b.append(1)
a
```

[ ]:
```
a = np.arange(10)
b = a[:3]
b[0] = 10
a
```

[ ]:
```
a.shape
```

[ ]:
```
a = np.linspace(0, 1, 11)
#a.dtype = np.int64
a
```

[ ]:
```
a[2]
```

[ ]:
```
b = a[::2]
b
```

[ ]:
```

```

[ ]:
```
print(a.strides)
print(b.strides)
```

[ ]:
```
a = np.zeros((4, 3))
a.strides
```

[ ]:
```
a = np.arange(10)
a.reshape((5, 2))
```

[ ]:
```
from numpy.lib.stride_tricks import as_strided
a = np.arange(10)
b = as_strided(a, shape=((6, 5)), strides=(8, 8))
print(b)
#b.mean(axis=1)
```

9 Broadcast

[30]:
```
import numpy as np
from numpy import *
```

[32]:
```
x = np.random.rand(5)
x
```

[32]:
```
array([0.40514252, 0.13478749, 0.22673899, 0.98649996, 0.35557377])
```

[38]:
```
x[2:4] + 2
```

[38]:
```
array([3., 4.])
```

[ ]:
```

```

[42]:
```
# Si sur une dimension la taille du tableau vaut 1, alors numpy peut l'étendre
# pour qu'elle ait la même valeur que celle de l'autre tableau
x = random.rand(5, 5)
a = array([ [1, 2, 3, 4, 5] ])
print(x.shape)
print(a.shape)
x + a
x[2:4, :] + a
```

```
(5, 5)
(1, 5)
```

[42]:
```
array([[1.02509885, 2.74115212, 3.29267669, 4.72117002, 5.59556385],
       [1.52200889, 2.33703806, 3.70425874, 4.56971256, 5.15240082]])
```

[ ]:
```
x = np.arange(10)
x + 1
```

[ ]:
```
# Il y a une syntaxe simple pour rajouter une dimension de taille 1
# C'est newaxis
a = arange(5)
b = a[np.newaxis, :]
x = random.rand(5, 5)
x[2:4, :] = b
```

```
x
```

[43]:
```
# Exemple : calculer une moyenne pondérée
# Chaque ligne est un élève, chaque colonne un examen
notes = random.rand(10, 5)*20
print(notes)
coef = array([1, 4, 2, 5, 8])
```

```
[[ 8.36849253 11.92181278  9.00265016 18.86317485 18.7849147 ]
 [14.13264325 16.54411792 11.07599628  3.55013717 15.55692167]
 [12.22955338  0.72140408  1.01774637  9.32702606  7.06777787]
 [ 8.1618087  17.02043415  5.36869047 15.26328654 17.53625932]
 [ 0.27927201  7.36561785  1.15922399 18.97472348 12.69871536]
 [12.56920069 16.97387632 12.16501643 16.49076701  5.35795125]
 [ 1.91633744 19.12602645 10.92793234 18.09573856 19.31894248]
 [ 9.47044479  2.09979974  0.56171049  8.13554496 12.48921352]
 [17.18138621  6.12986777  6.298114    2.06346925 15.41860937]
 [ 0.57529256 12.10533197 14.31454181  6.87408222  1.72796792]]
```

[44]:
```
# Il est inutile de faire des boucles
(notes*coef[np.newaxis,:]).sum(axis=1)/np.sum(coef)
```

[44]:
```
array([15.93281179, 12.23335834,  6.01640079, 15.17937168, 11.42617658,
       11.50560919, 17.26532703,  7.97922488,  9.39816532,  6.29099293])
```

10 Au delà de numpy : numba

- Calculer π (avec une formule très très lente!!!)

$$\frac{\pi}{4} = \sum_i \frac{(-1)^i}{2i+1} = 1 - \frac{1}{3} + \frac{1}{5} - \frac{1}{7} + \dots$$

- numba.vectorize

[ ]:
```
def pi_python(N):
    res = 0
    coef = 1
    for i in range(N):
        res += coef/(2*i+1)
        coef = -coef
    return 4*res

%timeit pi_python(1000000) # 77 ms
```

[ ]:
```
import numpy as np
def pi_np(N):
    Ti = np.arange(N)
```

```
    return 4*np.sum( (1-2*(Ti%2)  )/(2*Ti+1))

%timeit pi_np(1000000) # 11.5ms
```

[ ]:
```
from numba import jit, int64, float64
import numba
# Just in time complier

numba_pi = jit(float64(int64))(pi_python)

%timeit numba_pi(1000000)
```

[ ]:
```
# Décorateur @
@jit( float64(int64) )
def numba_pi(N):
    res = 0
    coef = 1
    for i in range(N):
        res += coef/(2*i+1)
        coef = -coef
    return 4*res

# for(i=0; i++; i<N)
# { }
# pi_python = jit(float64(int64))(pi_python
```

[ ]:
```
#@jit(float64[:](float64[:], float64[:]), parallel=True)
def somme(a, b):
    N = len(a)
    c = np.zeros(N)
    for i in numba.prange(N):
        c[i] = a[i] + np.sin(b[i])*np.cos(a[i])
    return c

a = np.linspace(0, 1, 1000000)
b = np.logspace(1, 2, 1000000)

%timeit somme(a, b)
```

[ ]:
```
float64[:]
```

[ ]:
```
# Numpy utilise des variables intermédiaires -> vitesse limitée par la mémoire
(a + b)*c + a
tmp1 = a + b
tmp2 = tmp1*c
res = tmp2 + a
```

11 Les décorateurs

Utilisé pour modifier automatiquement une fonction

Par exemple :

- Gérer les erreurs d'un façon spécifique
- Loguer les appels d'une fonction
- Mettre en cache
- Pour numpy : np.vectorize peut être utilisé comme un décorateur

[ ]:
```
def dit_bonjour(f):
    def nouvelle_fonction(*args, **kwd):
        print('Bonjour')
        return f(*args, **kwd)
    return nouvelle_fonction

@dit_bonjour
def f(x):
    return x**2
```

[ ]:
```
f(2)
```

[ ]:
```
def dit_qqc(mot):
    def mon_decorateur(f):
        def nouvelle_fonction(*args, **kwd):
            print(mot)
            return f(*args, **kwd)
        return nouvelle_fonction
    return mon_decorateur

@dit_qqc('Hello!')
def f(x):
    return 2*x

f(2)
```

[ ]:
```
def cache(f):
    the_cache = {}
    def nouvelle_fonction(x):
        if x not in the_cache.keys():
            the_cache[x] = f(x)
        return the_cache[x]
    return nouvelle_fonction

@cache
def f(x):
    print('COUCOU')
    return x**2
```

[ ]:
```
f(2)
```

[ ]:
```
f(2)
```

[ ]:
```

```