Outils Numériques pour l'Ingénieur·e en Physique

2024-2025

5N-028-SCI / ONIP-1

Bloc 1 - Introduction à Python ( )

Concepts étudiés

[Num] Vecteurs et matrices
[Num] Signaux numériques
[Num] Figures scientifiques
[Math] Transformée de Fourier
[Phys] Echantillonnage

Mots clefs

Vecteurs; Matrices; Signaux; Discrétisation

Sessions

0 Cours(s) - 1h30
0 TD(s) - 1h30
3 TD(s) Machine - 2h00
0 TP(s) - 4h30

Travail

Seul ou par binôme

Institut d'Optique
Graduate School, *France*
https://www.institutoptique.fr

GitHub - Digital Methods

https://github.com/IOGS-Digital-Methods

Ce document est accessible en ***version numérique*** *sur le* ***site du LEnsE****, rubrique Année / Première Année / Outils Numériques / Bloc Intro.*

Maitriser les concepts de base de Python pour la Science

Dans le monde scientifique, on part souvent d'une problématique (ou d'une observation) que l'on cherche à modéliser et à comprendre, à l'aide de diverses lois. Ce travail mène souvent à un ensemble d'équations qui nécessitent alors d'être résolues (équations linéaires, équations différentielles, intégrales...).

Pour arriver à résoudre ces systèmes d'équations de **manière exacte** (ou analytique), il est souvent nécessaire de faire des **hypothèses simplificatrices** qui mènent alors à une **résolution approchée** du phénomène physique observé.

Pour pouvoir **réaliser une étude plus poussée**, il est intéressant de conserver certaines parties des équations non simplifiées. La résolution analytique en devient alors souvent impossible. C'est là que l'informatique peut nous venir en aide.

Python est un **langage de programmation** de haut niveau, avec une syntaxe relativement naturelle pour l'être humain et un **large choix de bibliothèques** permettant de le rendre généraliste.

Nous allons voir à travers les trois premières séances des **outils de base** qu'un·e futur·e ingénieur·e dans le domaine de la physique doit maitriser : générer des signaux de tests valides, créer des fonctions basés sur des lois physiques ou/et mathématiques, produire des graphiques pertinents des résultats...

Acquis d'Apprentissage Visés

En résolvant ces problèmes, les étudiant·es seront capables de :

Côté Numérique

1. **Générer des signaux numériques** à partir de fonctions mathématiques
2. **Définir et documenter des fonctions** pour faciliter la réutilisabilité d'un code
3. **Produire des figures** claires et légendées à partir de signaux numériques - incluant un titre, des axes, des légendes
4. **Utiliser un environnement de développement** pour faciliter l'écriture et le débogage d'un code

Côté Physique

1. **Valider des données de test**

Ressources

Cette séquence est basée sur le langage Python. Nous utiliserons l'environnement **PyCharm** (édition Community 2023) et **Python 3.10** (inclus dans la distribution Anaconda 3).

Une liste de **notions utiles** est proposée en début de chaque exercice. Ces notions sont détaillées sur la page suivante :

https://iogs-lense-training.github.io/python-for-science/

Travail à réaliser

Séance 1

Cette séance est consacrée à l'utilisation de l'environnement de développement (IDE) **PyCharm**, qui permet de faciliter l'écriture et le débogage d'un code en Python.

D'autres IDE existent et permettent de faire des choses similaires. C'est le cas par exemple de ***VSCode*** *(avec les extensions adéquates).*

En tant qu'étudiant·e à l'université Paris-Saclay, vous pouvez avoir accès gratuitement à la version professionnelle de **PyCharm**. Il existe également une version communautaire entièrement gratuite (mais avec quelques fonctionnalités en moins - la gestion des fichiers Jupyter par exemple).

Vous pouvez également vous aider de la documentation officielle de PyCharm https://www.jetbrains.com/fr-fr/pycharm/learn/

Exercice 1 / Création d'un projet (sous PyCharm)

Notions : *Preparing Python - Work Flow* | *PyCharm IDE*

1. Lancer le logiciel PyCharm.
2. Cliquer sur *New Project* ou *File / New Project*
3. Dans la fenêtre qui s'ouvre:
   - Saisir le répertoire dans lequel sera stocké le projet : *Location*
   - Pour l'interpréteur Python, Sélectionner : *Previously configured*
   - Si aucun interpréteur n'est configuré, se référer à la section suivante.
   - Cocher la case *Create a main.py welcome script*
   - Cliquer sur *Create*

Ajouter un interpréteur

Si aucun interpréteur n'est configuré:

1. Dans la zone de choix de l'interpréteur, cliquer sur *Add Interpreter* puis *Add Local Interpreter*.
2. Dans la fenêtre qui s'ouvre, sélectionner *System Interpreter* puis sélectionner une version qui inclut **Python 3** (par exemple dans la distribution Anaconda 3).

Dans des projets plus complexes et professionnels, il sera intéressant de créer un projet basé sur un environnement spécifique (VENV), permettant notamment d'intégrer l'ensemble des bibliothèques utilisées dans leur "bonne" version, afin d'assurer la compatibilité de développement.

Travail à réaliser (suite)

Séance 1 - Suite

Exercice 2 / Optimisation d'un code

Notions : *Data Types and Display - Variables* | *Functions* | *Numpy Basics - Using Vectors* | *Matplotlib Basics - Basic Example* | *Good Practices - Documenting methods*

On se propose d'étudier le code ***first_try.py*** fourni.

1. Créer un projet et ajouter le fichier mentionné précédemment dans votre projet.
2. Créer une configuration permettant d'exécuter ce script.
3. Que fait ce code ? Quelles améliorations pouvez-vous lui apporter ?
4. Utiliser l'option `Refactor / Refactor this...` pour modifier les noms de certaines fonctions ou certaines variables. Il est également possible de renommer les variables à l'aide du raccourci `MAJ + F6`.
5. Utiliser l'aide associée aux erreurs pour corriger le code. Il est possible de survoler les zones de codes soulignées avec la souris pour lire les recommandations de l'IDE.
6. L'affichage final est-il pertinent ? Générer un vecteur `c1` plus adapté et afficher à nouveau la courbe.
7. Ajouter les types des données d'entrée et de sortie de la fonction précédente. Ajouter une documentation de type *docstring* à votre fonction par un *clic droit* sur le nom de la fonction `=> dessin d'ampoule => insert doc...`

Exercice 3 / Utilisation de points d'arrêt et d'affichage formaté

Notions : *Data Types and Display - Lists* | *Data Types and Display - Display information to the user*

On se propose d'étudier le code ***sum_list_elements.py*** fourni.

1. Ajouter le fichier mentionné précédemment dans votre projet.
2. Ajouter un point d'arrêt dans votre code, en double-cliquant dans la marge gauche de l'IDE.
3. Exécuter le code en mode **DEBUG** et contrôler l'exécution pas à pas (`resume, step over, step in/out`...).
4. Observer le contenu des différentes variables à l'aide des options de l'onglet *Threads & Variables*.

Exercice 4 / Codes à corriger

Notions : *Data Types and Display* | *Functions* | *Numpy Basics* | *Matplotlib Basics*

En vous aidant des outils précédemment évoqués, essayer de **corriger les codes** contenus dans les fichiers : ***binary_search.py***, ***linear_regression_and_noise.py*** et ***bubble_sort.py***.

Pour le code contenu dans le fichier ***linear_regression_and_noise.py***, vous pourrez aussi améliorer l'affichage en réalisant par exemple une figure incluant 6 sous-figures...

Séance 2

Exercice 1 / Listes

Notions : *Data Types and Display - Lists*

1. Générer une liste ***L_temps*** de 101 points régulièrement répartis entre 0 et 1 s.
2. Afficher la taille de cette liste.
3. Afficher le dernier élément de la liste.
4. Quelle est la période d'échantillonnage ?

Exercice 2 / Temps d'exécution et fonction

Notions : *Functions* | *Execution Time*

1. Créer une fonction ***get_list*** qui génère une liste de ***N*** nombres réels régulièrement répartis entre une valeur ***start*** et une valeur ***stop***. Les éléments ***N***, ***start*** et ***stop*** seront des paramètres de cette fonction. Le paramètre ***start*** aura une valeur par défaut de 0.
2. Mesurer le temps d'exécution de la création d'une liste ***L_test*** de 10.000 points répartis entre 0 et 1.

Exercice 3 / Génération d'un vecteur avec Numpy

Notions : *Functions* | *Numpy Basics - Using Vectors* | *Execution Time*

1. Importer la bibliothèque **Numpy**.
2. A l'aide de la bibliothèque **Numpy**, générer un vecteur ***V_test*** de 10.000 nombres réels répartis entre 0 et 1.
3. Afficher la taille de ce vecteur.
4. Afficher le dernier élément de ce vecteur.
5. Mesurer le temps d'exécution de la génération d'un vecteur de 10.000 nombres réels répartis entre 0 et 1.
6. Comparer à la mesure de l'exercice 2. Que concluez-vous ?

Exercice 4 / Génération de signaux et affichage

Notions : *Functions* | *Numpy Basics - Using Vectors* | *Matplotlib Basics - Scientist figure*

1. Créer un vecteur ***temps*** de 101 points régulièrement répartis entre 0 et 1 s. Quelle est la période d'échantillonnage ?
2. Importer la bibliothèque **matplotlib.pyplot**.
3. Tracer une sinusoïde de période 50 ms en rouge. Ajouter un titre, des axes et une légende au graphique.
4. Que pensez-vous du résultat ? Améliorer le résultat.
5. Tracer sur le même graphique une sinusoïde de période 20 ms en bleu.
6. Faire un zoom pour n'afficher que quelques périodes des deux sinusoïdes.
7. Faire une fonction qui prend comme argument la période de la sinusoïde, tester-la avec une période de 30 ms.

Exercice 5 / Fonction porte

Notions : *Numpy Basics - Using Vectors* | *Numpy Basics - Conditionals on arrays*

1. Créer une fonction ***porte*** qui renvoie un vecteur de booléens à partir d'un vecteur ***v_in***. Ce vecteur sera **vrai** lorsque les valeurs de ***v_in*** sont comprises entre une valeur ***min*** et une valeur ***max*** et **faux** sinon. Le vecteur ***v_in*** ainsi que les valeurs ***min*** et ***max*** seront passés en paramètre.
2. Tester cette fonction.

Exercice 6 / Matrices

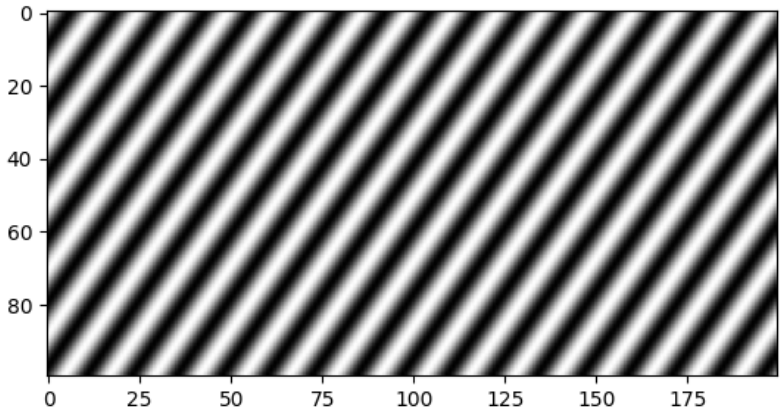
Notions : *Numpy Basics - Using Vectors* | *Numpy Basics - Using Matrices*

Soit la matrice A suivante :

$$A = \begin{pmatrix} 4 & 6 & -2 & 3 \\ 2 & -1 & 0 & 1 \\ -7 & 0 & 1 & 12 \end{pmatrix}$$

1. Créer une matrice ***A*** avec NUMPY (*np.array*) et l'afficher.
2. Afficher le type de ***A*** et le type d'un des éléments de ***A*** . Afficher aussi la taille de la matrice.
3. Afficher la seconde colonne puis la troisième ligne.
4. Afficher la moyenne de tous les éléments, la moyenne par colonne, la moyenne par ligne.
5. Utiliser l'affichage formaté pour afficher : "la moyenne de tous les éléments vaut ... "
6. Modifier la matrice ***A*** pour que ses 2 premières lignes soient multipliées par 2 puis que sa dernière colonne soit divisée par 3. Quel est alors le type des éléments de ***A*** ?
7. Créer une seconde matrice ***B*** de 3 lignes par 4 colonnes ne contenant que des 2. Remplacer la première colonne de ***B*** par des 0.
8. Que représente ***A*B*** ? Comment faire un produit matriciel entre ***A*** et ***B*** ?
9. Créer une matrice ***CC*** qui ne conserve que les éléments supérieurs à 5 de la matrice ***A*B*** et force les autres à 0.

Exemple d'une trame sinusoïdale en 2D (séance 3) :



Travail à réaliser (suite)

Séance 3

Exercice 1 / Transformée de Fourier

Notions : *Functions* | *Numpy Basics - Using Vectors* | *Matplotlib Basics - Scientist figure* | *FFT - Calculate the FFT of a signal*

1. Créer une fonction permettant de générer une fonction sinusoïdale dont l'amplitude, la fréquence et le vecteur temps seront passés en paramètre.
2. Générer un signal sinusoïdal de fréquence 200 Hz avec une période d'échantillonnage de 300 μs, sur un intervalle de temps de 0.1 s.
3. Afficher ce signal.
4. Calculer la transformée de Fourier (TF) discrète du signal précédent, en utilisant l'algorithme FFT.
5. Afficher le résultat précédent sur un graphique (parties réelle et imaginaire). Ajouter un titre, des axes et une légende. Préciser le rôle de la fonction *np.fft.fftshift()*.
6. Reconstruire l'axe des fréquences pour compléter le graphique précédent.
7. Afficher à présent le module de la TF discrète du signal précédent. Est-ce le résultat voulu ?

Exercice 2 / Génération de matrices 2D et utilisation d'un *meshgrid*

Notions : *Meshgrid and matrix calculation* | *Execution Time*

1. Générer une matrice à deux dimensions de taille 200 par 100, à l'aide de la fonction *np.ones()*.
2. A l'aide d'une double boucle, générer une matrice à 2 dimensions de largeur 200 et hauteur 100 (x compris entre 0 et 199 avec un pas de 1 et y compris entre 0 et 99 avec un pas de 1) dont les valeurs décrivent une fonction sinusoïdale de période 10 dans le sens vertical.
   Un exemple est donné à la page précédente.
3. Visualiser le résultat à l'aide de la fonction *plt.imshow()*.
4. Mesurer le **temps d'exécution** de cette fonction.
5. Générer cette même matrice à l'aide d'un objet de type ***meshgrid*** (bibliothèque **Numpy**).
6. Visualiser le résultat à l'aide de la fonction *plt.imshow()*.
7. Mesurer le temps d'exécution de cette génération et comparer ce temps à celui obtenu précédemment. Qu'en concluez-vous ?

Exercice 3 / Génération de matrices 2D - Tramage

Notions : *Functions* | *Numpy Basics - Using Vectors* | *Meshgrid and matrix calculation* | FFT2D

1. Réaliser une fonction qui génère une trame en 2 dimensions sinusoïdale de taille ***M*** par ***N***, d'un pas spatial de ***step***, selon un angle ***alpha***.
2. Tester cette fonction et générer une trame de 200 par 100 selon un pas de 10.1 et un angle de 35 deg .
3. Utiliser la fonction ***np.fft.fftshift*** sur la matrice générée.
4. Faire la transformée de Fourier en 2D de la trame précédente et afficher le résultat.
