

UTC503 : Paradigmes de programmation

Introduction à la programmation objet en Python

Xavier Crégut
<Prénom.Nom@enseeiht.fr>

ENSEEIHT
Sciences du Numérique

Objectifs et structure de ce support

Objectifs de ce support :

- une introduction à la programmation objet
- en l'illustrant avec le langage Python
- et le diagramme de classe de la notation UML (Unified Modelling Language)

Principaux éléments :

- Exemple introductif : passage de l'impératif à une approche objet
- Encapsulation : classe, objets, attributs, méthodes, etc.
- Relations entre classes
 - Relations d'utilisation
 - Relation d'héritage
- Des éléments méthodologiques

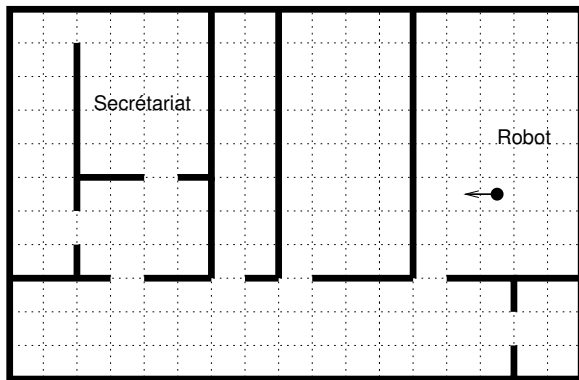
Sommaire

- 1 Exemple introductif
- 2 Classes et objets
- 3 Relations entre classes
- 4 Compléments

- Les robots

Modéliser un robot

Exercice 1 Modéliser un robot capable d'avancer d'une case et de pivoter de 90° vers la droite. On pourra alors le guider de la salle de cours (position initiale du robot) jusqu'au secrétariat.



Types et sous-programmes associés (pseudo-code)

1. On sait définir un type Robot :

```
RobotType1 =
  Enregistrement
    x: Entier;    -- abscisse
    y: Entier;    -- ordonnée
    direction: Direction
  FinEnregistrement
```

```
Direction = (NORD, EST, SUD, OUEST)
```

3. On sait utiliser des robots :

```
Variable
  r1, r2: RobotType1;
Début
  initialiser(r1, 4, 10, EST)
  initialiser(r2, 15, 7, SUD)
  avancer(r1)
  pivoter(r2)
Fin
```

2. On sait modéliser ses opérations :

```
Procédure avancer(r: in out RobotType1)
  -- faire avancer le robot r
Début
  ...
Fin
```

```
Procédure pivoter(r: in out RobotType1)
  -- faire pivoter le robot r
  -- de 90° à droite
Début
  ...
Fin
```

```
Procédure initialiser(r: out RobotType1
  x, y: in Entier, d: in Direction)
  -- initialiser le robot r...
Début
  r.x <- x
  r.y <- y
  r.direction <- d
Fin
```

Module Robot en Python (fichier robot_dict.py)

```
1  """ Modèle très limité de robot qui ne sait qu'avancer d'une
2      case et pivoter à droite de 90°. Il est repéré par son abscisse x,
3      son ordonnée y et sa direction (un entier dans 0..3).
4  """
5  _directions = ('nord', 'est', 'sud', 'ouest') # direction en clair
6  _dx = (0, 1, 0, -1) # incrément sur X en fonction de la direction
7  _dy = (1, 0, -1, 0) # incrément sur Y en fonction de la direction
8
9  def robot(x, y, direction):
10     """ Créer un nouveau robot. """
11     return { 'x': x, 'y': y, 'direction': _directions.index(direction) }
12
13  def avancer(r):
14     """ Avancer le robot r d'une case dans la direction courante. """
15     direction = r['direction']
16     r['x'] += _dx[direction]
17     r['y'] += _dy[direction]
18
19  def pivoter(r):
20     """ Pivoter de 90° à droite le robot r. """
21     r['direction'] = (r['direction'] + 1) % 4
22
23  def afficher(r, *, prefix=''):
24     """ Afficher le robot r. """
25     print('{}Robot(x={},_y={},_direction={})'
26           .format(prefix, r['x'], r['y'], _directions[r['direction']]))
```

Commentaires sur le module Robot en Python

- Pas de définition explicite du type Robot
 - les données du robot sont stockées dans un dictionnaire (type dict), tableau associatif
 - syntaxe un peu lourde : `r['x']`
 - les notions d'objet et de classe seront de meilleures solutions
 - *Remarque* : on pourrait utiliser le type `namedtuple` de `collections` (mais immuable).
- Type énuméré `Direction` représenté par un entier.
 - *Remarque* : Python offre le module `enum` pour définir des types énumérés.
- `_dx` et `_dy` sont des tuples indicés par la direction du robot
 - donnent l'entier à ajouter à `x` ou `y` pour déplacer le robot en fonction de sa direction
 - simplification du code de `translate`, évite des `if`.
- `_directions` permet d'obtenir le nom en clair de la direction
 - utilisé à la création
 - utilisé à l'affichage
- les éléments qui commencent pas un souligné (`_`) sont considérés comme locaux
 - un utilisateur du module ne devrait pas les utiliser

Utilisation du module Robot en Python

```
1  from robot_dict import *
2
3  r1 = robot(4, 10, 'est')
4  afficher(r1, prefix='r1_=_')
5  r2 = robot(15, 7, 'sud')
6  afficher(r2, prefix='r2_=_')
7  pivoter(r1)
8  afficher(r1, prefix='r1_=_')
9  avancer(r2)
10 afficher(r2, prefix='r2_=_')
```

Et le résultat :

```
r1 = Robot(x=4, y=10, direction=est)
r2 = Robot(x=15, y=7, direction=sud)
r1 = Robot(x=4, y=10, direction=sud)
r2 = Robot(x=15, y=6, direction=sud)
```


Module : Encapsulation des données (types) et traitements (SP)

- **Principe** : Un type (prédéfini ou utilisateur) n'a que peu d'intérêt s'il n'est pas équipé d'opérations !
- **Justifications** :
 - éviter que chaque utilisateur du type réinvente les opérations
 - favoriser la réutilisation
- **Module** : Construction syntaxique qui regroupe des types et les opérations associées
- **Intérêt des modules** :
 - **structurer** l'application à un niveau supplémentaire par rapport aux sous-programmes (conception globale du modèle en V) ;
 - **factoriser/réutiliser** le code (type et SP) entre applications ;
 - **améliorer la maintenance** : une évolution dans l'implantation d'un module ne devrait pas avoir d'impact sur les autres modules d'une application ;
 - **faciliter le test** : le modules sont testés individuellement.
- **Question** : Pourquoi séparer données et traitements ?
- **Approche objet** : regrouper données et SP dans une entité appelée classe

Version objet

1. Modéliser les robots :

Classe = Données + Traitements

RobotType1
x : Entier y : Entier direction : Direction
avancer pivoter
initialiser(in x, y : int, in d : Direction)

Notation UML :

Nom de la classe	
attributs	<i>(état)</i>
opérations	<i>(comportement)</i>
constructeurs	<i>(initialisation)</i>

2. Utiliser les robots

Variable

```
r1, r2: RobotType1
```

Début

```
r1.initialiser(4, 10, EST)
r2.initialiser(15, 7, SUD)
r1.pivoter
r2.avancer
```

Fin

r1 : RobotType1
x = 4 y = 10 direction = EST SUD
avancer pivoter initialiser(in x, y : int, in d : Direction)

(objet r1)

r2 : RobotType1
x = 15 y = 7 direction = SUD
avancer pivoter initialiser(in x, y : int, in d : Direction)

(objet r2)

Classes et objets

Classe : moule pour créer des données appelées objets

- spécifie l'état et le comportement des objets
- équivalent à un type équipé des opérations pour en manipuler les données

Objet : donnée créée à partir d'une classe (**instance d'une classe**)

- une **identité** : distinguer deux objets différents
 - r1 et r2 sont deux objets différents, instances de la même classe Robot
 - en général, l'identité est l'adresse de l'objet en mémoire
- un **état** : informations propres à un objet, décrites par les attributs/champs
 - exemple : l'abscisse, l'ordonnée et la direction d'un robot
 - propre à chaque objet : r1 et r2 ont un état différent
- un **comportement** : décrit les évolutions possibles de l'état d'un objet sous la forme d'opérations (sous-programmes) qui lui sont applicables
 - exemples : avancer, pivoter, etc.
 - une opération manipule l'état de l'objet

Remarque : On ne sait pas dans quel ordre les opérations seront appelées... mais il faut commencer par initialiser l'objet : c'est le rôle du **constructeur** (initialiser).

Première version de la classe Robot en Python (robot.py)

```
class Robot:
```

```
    """ Robot qui sait avancer d'une case et pivoter à droite de 90°.
        Il est repéré par son abscisse x, son ordonnée y et sa direction.
    """
    def __init__(self, x, y, direction):
        """ Initialiser le robot self à partir de sa position (x, y) et sa direction. """
        self.x = x
        self.y = y
        self.direction = 'nord_est_sud_ouest'.split().index(direction)

    def avancer(self):
        """ Avancer d'une case dans la direction. """
        # mettre à jour self.x
        if self.direction == 1: # est
            self.x += 1
        elif self.direction == 3: # ouest
            self.x -= 1
        # mettre à jour self.y
        if self.direction == 0: # nord
            self.y += 1
        elif self.direction == 2: # sud
            self.y -= 1
```

Première version de la classe Robot en Python (robot.py) (2)

```
def pivoter(self):  
    """ Pivoter ce robot de 90° vers la droite. """  
    self.direction = (self.direction + 1) % 4  
  
def afficher(self, *, prefix=''):  
    print(prefix + '({},_{}>{}'.format(self.x, self.y, \  
        'nord_est_sud_ouest'.split()[self.direction]))
```

- 1 Expliquer les différents éléments qui apparaissent sur cette classe.
- 2 Expliquer comment a été modélisé le robot, en particulier que représente direction.
- 3 Indiquer les critiques que l'on peut faire sur ce code et comment l'améliorer.

Utilisation de la classe Robot en Python (fichier exemple_robot.py)

```
1 from robot import Robot
2
3 r1 = Robot(4, 10, 'est')
4 r1.afficher(prefix='r1_=_')
5 r2 = Robot(15, 7, 'sud')
6 r2.afficher(prefix='r2_=_')
7 r1.pivoter()
8 r1.afficher(prefix='r1_=_')
9 r2.avancer()
10 r2.afficher(prefix='r2_=_')
11 Robot.pivoter(r2)           # syntaxe "classique"
12 Robot.afficher(r2, prefix='r2_=_')
13 print('Robot.pivoter_:', Robot.pivoter)
14 print('r2.pivoter_:', r2.pivoter)
```

Et le résultat :

```
r1 = (4, 10)>est
r2 = (15, 7)>sud
r1 = (4, 10)>sud
r2 = (15, 6)>sud
r2 = (15, 6)>ouest
Robot.pivoter : <function Robot.pivoter at 0x7fb59425c5e0>
r2.pivoter : <bound method Robot.pivoter of <robot.Robot object at 0x7fb594265f70>>
```

Classe Robot en Python (fichier robot.py)

```
1  class Robot:
2      """ Robot qui sait avancer d'une case et pivoter à droite de 90°.
3          Il est repéré par son abscisse x, son ordonnée y et sa direction.
4          """
5      # des attributs de classe
6      _directions = ('nord', 'est', 'sud', 'ouest') # direction en clair
7      _dx = (0, 1, 0, -1) # incrément sur X en fonction de la direction
8      _dy = (1, 0, -1, 0) # incrément sur Y en fonction de la direction
9
10     def __init__(self, x, y, direction):
11         """ Initialiser le robot self à partir de sa position (x, y) et sa direction. """
12         self.x = x
13         self.y = y
14         self.direction = Robot._directions.index(direction)
15
16     def avancer(self):
17         """ Avancer d'une case dans la direction. """
18         self.x += Robot._dx[self.direction]
19         self.y += Robot._dy[self.direction]
20
21     def pivoter(self):
22         """ Pivoter ce robot de 90° vers la droite. """
23         self.direction = (self.direction + 1) % 4
24
25     def afficher(self, *, prefix=''):
26         print(prefix, self, sep='')
27
28     def __str__(self):
29         return '({},{})>{}'.format(self.x, self.y, Robot._directions[self.direction])
```

Passage d'UML à Python

Le diagramme UML donne le squelette de la classe Python

RobotType1
+ x : Entier
+ y : Entier
+ direction : Direction
- dx : String [4]
- dy : String [4]
- directions : String [4]
+ avancer
+ pivoter
+ initialiser(in x, y : int, in d : Direction)

- : privé (local à la classe)
+ : public (accessible de tous)
souligné : niveau classe

```
class Robot:
    """ ... """

    _directions = ... # les attributs de classe
    _dx = ...
    _dy = ...

    def __init__(self, x, y, direction): # constructeur
        """ ... """
        self.x = ... # définir les attributs d'instance
        self.y = ...
        self.direction = ...

    def avancer(self):
        """ ... """
        pass

    def pivoter(self):
        """ ... """
        pass

    def __str__(self): # pour convertir en chaîne
        return ...
```


Exercices

Exercice 2 : Date

Proposer une modélisation UML d'une classe Date.

Exercice 3 : Monnaie

- 1 Modéliser en UML une classe Monnaie. Une monnaie est caractérisée par une valeur (int) et une devise (str) et possède les opérations ajouter et retrancher pour respectivement ajouter et retrancher à cette monnaie une autre monnaie. Les deux monnaies doivent avoir même devise sinon l'exception TypeError est levée.
- 2 Écrire deux tests. Le premier ajoute à la monnaie m1 de 5 euros la monnaie m2 de 7 euros et vérifie que m1 vaut bien 12 euros. Le deuxième retranche à m1 m2 et vérifie que la valeur de m1 est -2.
- 3 Écrire en Python la classe Monnaie.

Exercice 4 : Fraction

Proposer une modélisation UML d'une classe Fraction.

Sommaire

- 1 Exemple introductif
- 2 Classes et objets**
- 3 Relations entre classes
- 4 Compléments

- Classe
- Objet
- Attributs
- Méthodes
- Python : un langage hautement dynamique
- Information privées
- Comment définir une classe
- Méthodes spéciales

Classe

Une classe définit :

- un **Unité d'encapsulation** : elle regroupe la déclaration des attributs et la définition des méthodes associées dans une même construction syntaxique

```
class NomDeLaClasse:  
    # Définition de ses caractéristiques
```

- *attributs* = stockage d'information (état de l'objet).
- *méthodes* = unités de calcul (sous-programmes : fonctions ou procédures).

C'est aussi un **espace de noms** :

- deux classes différentes peuvent avoir des **membres** de même nom
- un **TYPE** qui permet de :
 - créer des objets (la classe est un moule, une matrice);

Les méthodes et attributs définis sur la classe comme « unité d'encapsulation » pourront être appliqués à ses objets.

Objet

- **Objet** : donnée en mémoire qui est le représentant d'une classe.
 - l'objet est dit **instance** de la classe
- Un objet est caractérisé par :
 - un **état** : la valeur des attributs (x, y, etc.);
 - un **comportement** : les méthodes qui peuvent lui être appliquées (avancer, etc.);
 - une **identité** : identifie de manière unique un objet (p.ex. son adresse en mémoire).
- Un objet est créé à partir d'une classe (en précisant les paramètres effectifs de son constructeur, sauf le premier, `self`) :

```
Robot(4, 10, 'Est')           # création d'un objet Robot
Robot(direction='Sud', x=15, y=7) # c'est comme pour les sous-programmes
```

- retourne l'identité de l'objet créé
- En Python, les objets sont soumis à la **sémantique de la référence** :
 - la mémoire qu'ils occupent est allouée dans le tas (pas dans la pile d'exécution)
 - **seule leur identité permet de les désigner**
- Les identités des objets sont conservées dans des variables (des noms) :

```
r1 = Robot(4, 10, 'Est')
r2 = Robot(direction='Sud', x=15, y=7)
```

Attributs

On distingue :

- les **attributs d'instance** : spécifiques d'un objet (x, y, direction)
- les **attributs de classe** : attachés à la classe et non aux objets (`_dx`, `_dy`, `_directions`, etc.)

```
1 class A:
2     ac = 10 # Attribut de classe
3     def __init__(self, v):
4         self.ai = v # ai attribut d'instance
5 a = A(5) #-----
6 assert a.ai == 5
7 assert A.ac == 10
8 assert a.ac == 10 # on a accès à un attribut de classe depuis un objet
9 # A.ai # AttributeError: type object 'A' has no attribute 'ai'
10 b = A(7) #-----
11 assert b.ai == 7
12 assert b.ac == 10
13 b.ai = 11 #-----
14 assert b.ai == 11 # normal !
15 assert a.ai == 5 # ai est bien un attribut d'instance
16 A.ac = 20 #-----
17 assert A.ac == 20 # logique !
18 assert b.ac == 20 # l'attribut de classe est bien partagé par les instances
19 b.ac = 30 #----- Est-ce qu'on modifie l'attribut de classe ac ?
20 assert b.ac == 30 # peut-être
21 assert A.ac == 20 # mais non ! b.ac = 30 définit un nouvel attribut d'instance
22
23 assert A is type(a) and A is a.__class__ # obtenir la classe d'un objet
```

Méthodes

- Une **méthode d'instance** est un sous-programme qui exploite l'état d'un objet (en accès et/ou en modification).
 - Le premier paramètre désigne nécessairement l'objet. Par convention, on l'appelle **self**.
- Une **méthode de classe** est une méthode qui travaille sur la classe (et non l'objet).
 - Elle est décorée `@classmethod`.
 - Son premier paramètre est nommé `cls` par convention.

```
@classmethod
def changer_langue(cls, langue):
    if langue.lower() == 'fr':
        cls._directions = ('nord', 'est', 'sud', 'ouest')
    else:
        cls._directions = ('north', 'east', 'south', 'west')
```

```
Robot.changer_langue('en') # Utilisation
```

- Une **méthode statique** est une méthode définie dans l'espace de nom de la classe mais est indépendante de cette classe.
 - Elle est décorée `@staticmethod`

```
class Date:
    ...
    @staticmethod
    def est_bissextile(annee):
        return annee % 4 == 0 and (annee % 100 != 0 or annee % 400 == 0)
```

Quelques méthodes particulières (méthodes spéciales)

- `__init__(self, ...)` : le **constructeur** : méthode d'**initialisation** nécessairement appelée quand on crée un objet. Voir aussi `__new__`, T. 23.
 - C'est le constructeur qui devrait définir les attributs d'instance de la classe.
- `__del__(self)` : le **destructeur**, appelé quand une instance est sur le point d'être détruite.
- `__repr__(self)` : chaîne représentant cet objet et qui devrait correspondre (quand c'est possible) à une expression Python valide pour créer l'objet.
- `__str__(self)` : utilisée par `str()` pour obtenir la représentation sous forme d'une chaîne de caractères *lisible* de l'objet. Si non définie, retourne le résultat de `__repr__`.
 - Remplace avantageusement la méthode `affiche` !
- `__new__(cls, ...)` : méthode implicitement statique qui crée l'objet (et appelle `__init__`).
- `__bool__(self)` : utilisée quand l'objet est considéré comme booléen et avec la fonction prédéfinie `bool()`.
- ...

Voir <https://docs.python.org/3/reference/datamodel.html#special-method-names>

Python : un langage hautement dynamique

En Python, on peut ajouter ou supprimer des attributs (et des méthodes) sur un objet, une classe, etc.

```
1  from robot import Robot
2
3  r1 = Robot(4, 10, 'est')
4  print('r1_=', r1)
5  r2 = Robot(15, 7, 'sud')
6  print('r2_=', r2)
7
8  r1.nom = "D2R2"           # on a ajouté un nom à r1 mais r2 n'a pas de nom
9
10 def tourner_gauche(robot):
11     robot.direction = (robot.direction + 3) % 4
12
13 Robot.pivoter_gauche = tourner_gauche
14
15 r2.pivoter_gauche()      # direction devient 'est'
16 print('r2_=', r2)
17
18 del r1.x                 # suppression d'un attribut
19 r1.avancer()            # AttributeError: 'Robot' object has no attribute 'x'
```

À éviter !

Information privées (locales)

- Élément essentiel pour l'évolution d'une application :
 - Tout ce qui est caché peut encore être changé.
 - Tout ce qui est visible peut avoir été utilisé. Le changer peut casser du code existant.
- Pas d'information privées en Python mais une convention :
 - ce qui commence par un souligné « `_` » ne devrait pas être utilisé.
 - Traitement spécifique pour un élément qui commence par deux soulignés (nom préfixé par celui de la classe). Simule une information privée.
- Propriété sur les objets :
 - avoir une syntaxe identique à la manipulation d'un attribut (en accès ou modification) mais par l'intermédiaire de méthodes et donc avec contrôle !
 - Exemple : contrôler l'« attribut » mois d'une Date (compris entre 1 et 12).
- Principe de Python :
 - 1 On commence par définir un attribut normal.
 - 2 Si on a besoin de le contrôler, on passe à une propriété : cette modification ne remet pas en cause le code client qui reste inchangé.

Exemple de propriété : le mois d'une Date

```
1 class Date:
2     def __init__(self, jour, mois, annee):
3         self.__jour = jour
4         self.__mois = mois
5         self.__annee = annee
6
7     @property          # accès en lecture à mois, comme si c'était un attribut
8     def mois(self):
9         return self.__mois
10
11    @mois.setter       # accès en écriture à mois, comme si c'était un attribut
12    def mois(self, mois):
13        if mois < 1 or mois > 12:
14            raise ValueError
15        self.__mois = mois
16
17    if __name__ == "__main__":
18        d1 = Date(25, 4, 2013)
19        assert d1.mois == 4
20        # d1.__mois # AttributeError: 'Date' object has no attribute '__mois'
21        assert d1._Date__mois == 4 # Toujours possible, mais à éviter !
22        d1.mois = 12
23        assert d1.mois == 12
24        d1.mois = 13 # exception ValueError
```

Question : Est-ce que les attributs choisis pour la date sont pertinents ?

Comment définir une classe

Principales étapes lors du développement d'une classe :

1 Spécifier la classe du point de vue de ses utilisateurs (QUOI)

- Spécifier les méthodes
- Spécifier les constructeurs
- Définir des programmes de test

⇒ On peut écrire la classe (en mettant des **pass**). Elle contient la documentation.

⇒ On peut exécuter les tests... qui échouent, bien sûr.

2 Choisir les attributs (COMMENT)

- Les attributs doivent permettre d'écrire le code des méthodes identifiées.

3 Planter le constructeur et les méthodes (COMMENT)

- De nouvelles méthodes peuvent être identifiées. Elles seront locales et donc avec un identifiant commençant par un souligné.

4 Tester

- Les tests peuvent être joués au fur et à mesure de l'implantation des méthodes.

Comptes bancaires

Exercice 5 : Compte simple

Nous nous intéressons à un compte simple caractérisé par un solde exprimé en euros, positif ou négatif, et son titulaire.¹ Il est possible de créditer ce compte ou de le débiter d'un certain montant.

5.1. Donner le diagramme de classe de la classe `CompteSimple`.

5.2. Écrire un programme de test de `CompteSimple`.

5.3. Écrire (puis tester) la classe `CompteSimple`.

Exercice 6 : Banque

En suivant la même démarche, définir une classe `Banque` qui gère des comptes. Elle offre les opérations suivantes :

- ouvrir un compte pour un client
- calculer le total de l'argent géré par la banque (la somme des soldes de tous les comptes)
- prélever des frais sur l'ensemble des comptes

Exercice 7 : Compte Simple (suite)

Modifier la classe `CompteSimple` pour que le solde ne soit plus accessible en écriture. Il ne faut pas que cette modification ait un impact sur les programmes qui utilisent `CompteSimple`, en particulier `Banque` (et les programmes de test).

1. Nous simplifions le problème en considérant que tout compte a un et un seul titulaire correspondant à une personne physique modélisée par une classe `Personne`.

Méthodes de comparaison

```
__lt__(self, other)    # < (lesser than)
__le__(self, other)   # <= (lesser equal)
__eq__(self, other)   # == (equal)
__ne__(self, other)   # != (non equal)
__gt__(self, other)   # > (greater than)
__ge__(self, other)   # >= (greater equal)
```

Remarques :

- `__eq__` : définir l'égalité logique (==) entre objet (par opposition à l'égalité physique, comparaison des identités, (avec `is` : `id(o1) == id(o2)`)
- doit retourner `NotImplemented` si l'opération n'est pas implantée pour le couple d'objets.
- par défaut, `__ne__()` utilise `__eq__()`
- `functools.total_ordering()` : engendrer les autres fonctions à partir d'une seule.
- `__hash__()` : donne un hash de l'objet. Si deux objets sont égaux, ils doivent avoir le même hash. Ne pas la définir si les objets sont modifiables !

Surcharge des opérateurs arithmétiques

```

__add__(self, other)           # +
__sub__(self, other)          # -
__mul__(self, other)          # *
__matmul__(self, other)       # @
__truediv__(self, other)      # /           __neg__(self)       # - (unaire)
__floordiv__(self, other)     # //        __pos__(self)
__mod__(self, other)          # %           # + (unaire)
__pow__(self, other)          # **        __abs__(self)       # abs()
__lshift__(self, other)       # <<        __invert__(self)   # ~
__rshift__(self, other)       # >>
__and__(self, other)          # &
__xor__(self, other)          # ^
__or__(self, other)           # |

```

Pour chacune des précédentes méthodes, il existe deux autres méthodes :

- `__iXXX__` : pour la forme contractée de l'affectation (`a += b` correspond à `__iadd__`)
- `__rXXX__` : utilisé quand l'objet est à droite de l'opérateur. `1 + a` correspond à `__radd__`

Exercice 8 Surcharger l'opérateur '+' pour additionner deux monnaies et '*' pour multiplier une monnaie par nombre.

Émuler un conteneur

Les méthodes spéciales suivantes permettent d'émuler un conteneur (opérateur []):

```
__len__(self)           # la longueur de l'objet (nombre d'éléments contenus)
__getitem__(self, key) # récupérer
    # la clé est un objet (un entier pour une séquence) ou un slice.
__setitem__(self, key, value) # changer la valeur associée à la clé
__delitem__(self, key) # suppression de self[key]
__iter__(self)         # retourne un itérateur
__reversed__(self)    # itérateur inversé, de la fin au début
__contains__(self, item) # appartenance (opérateur in)
    # si non définie, __iter__ est utilisé
```

Émuler une fonction : `__call__`

Motivation : Si une classe définit la méthode spéciale `__call__`, ses instances peuvent être utilisées comme des fonctions (opérateur `()`).

```
def fib(n):
    if n <= 1: return n
    else: return fib(n-1) + fib(n-2)

class Fib:
    __cache = {0: 0, 1: 1}

    def __call__(self, n):
        if n not in self.__cache:
            self.__cache[n] = self(n - 1) + self(n - 2)
        return self.__cache[n]

import timeit
print('fib(30)_: ', timeit.timeit('fib(30)', globals=globals(), number=10))

f = Fib()
print('f(30)_: ', timeit.timeit('f(30)', globals=globals(), number=10))
print('f(200)_: ', timeit.timeit('f(200)', globals=globals(), number=10))

fib(30) : 1.9587223890121095
f(30)   : 2.258201129734516e-05
f(200)  : 0.00011405599070712924
```


Sommaire

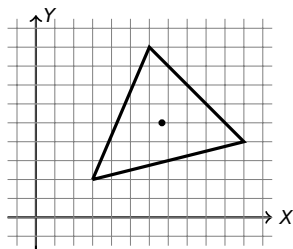
- 1 Exemple introductif
- 2 Classes et objets
- 3 Relations entre classes**
- 4 Compléments

- Relations d'utilisation
- Héritage
- Classes abstraites et interfaces

Préambule

On souhaite faire un éditeur qui permet de dessiner des points, des segments, des polygones, des cercles, etc.

Exemple de schéma composé de 3 segments et un point (le barycentre)



Documentation omise pour gain de place!

On considère la classe Point suivante.

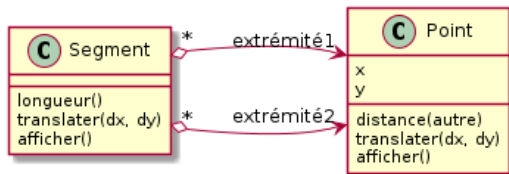
```

1  import math
2  class Point:
3      def __init__(self, x=0, y=0):
4          self.x = float(x)
5          self.y = float(y)
6
7      def __str__(self):
8          return f"({self.x};_{self.y})"
9
10     def translater(self, dx, dy):
11         self.x += dx
12         self.y += dy
13
14     def distance(self, autre):
15         dx2 = (self.x - autre.x) ** 2
16         dy2 = (self.y - autre.y) ** 2
17         return math.sqrt(dx2 + dy2)

```

Relation d'utilisation

Principe : Une classe utilise une autre classe (en général, ses méthodes).



Exemple : La classe **Segment** utilise la classe **Point**. Un segment est caractérisé par ses deux points extrémités :

- le *translater*, c'est translater les deux points extrémités
- sa *longueur* est la distance entre ses extrémités
- l'*afficher*, c'est afficher les deux points extrémités

Remarque : UML définit plusieurs niveaux de relation d'utilisation (dépendance, association, agrégation et composition) qui caractérisent le couplage entre les objets (de faible à fort).

La classe Segment

```
1 class Segment:
2     def __init__(self, e1: Point, e2: Point):
3         self.extremite1 = e1
4         self.extremite2 = e2
5
6     def __str__(self):
7         return f"[{self.extremite1}_-_{self.extremite2}]"
8
9     def translater(self, dx: float, dy: float):
10        self.extremite1.translater(dx, dy)
11        self.extremite2.translater(dx, dy)
12
13    def longueur(self):
14        return self.extremite1.distance(self.extremite2)
```

Le schéma donné en exemple

```
1 def exemple():
2     # créer les points sommets du triangle
3     p1 = Point(3, 2)
4     p2 = Point(6, 9)
5     p3 = Point(11, 4)
6
7     # créer les trois segments
8     s12 = Segment(p1, p2)
9     s23 = Segment(p2, p3)
10    s31 = Segment(p3, p1)
11
12    # créer le barycentre
13    sx = (p1.x + p2.x + p3.x) / 3.0
14    sy = (p1.y + p2.y + p3.y) / 3.0
15    barycentre = Point(sx, sy)
16
17    # construire le schéma
18    schema = [s12, s23, s31, barycentre];
19
20    # afficher le schéma
21    for elt in schema:
22        print(elt)
```

Le résultat obtenu :

```
[(3.0 ; 2.0) - (6.0 ; 9.0)]
[(6.0 ; 9.0) - (11.0 ; 4.0)]
[(11.0 ; 4.0) - (3.0 ; 2.0)]
(6.666666666666667 ; 5.0)
```

Exercice

Exercice 9 : Définition d'un point nommé

Un point nommé est un point, caractérisé par une **abscisse** et une **ordonnée**, qui possède également un **nom**. Un point nommé peut être **translaté** en précisant un déplacement suivant à l'axe des X (abscisses) et un déplacement suivant l'axe des Y (ordonnées). On peut obtenir sa **distance** par rapport à un autre point. Il est possible de **modifier** son abscisse, son ordonnée ou son nom. Enfin, ses caractéristiques peuvent être **affichées**.

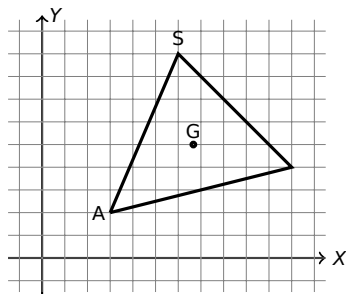
9.1. Modéliser en UML cette notion de point nommé.

9.2. Une classe Point a déjà été écrite. Que constatez-vous quand vous comparez le point nommé et la classe Point des transparents suivants ?

9.3. Comment écrire la classe PointNommé ?

Évolution de l'application

Objectif : On souhaite pouvoir nommer certains points.



Comment faire ?

Idee : faire une nouvelle classe PointNommé, un point avec un nom.

Héritage

- **Principe** : définir une nouvelle classe par spécialisation d'une (ou plusieurs) classe(s) existante(s).

- **Exemple** : Définir une classe PointNommé sachant que la classe Point existe.
La classe PointNommé :

- **hérite** (récupère) tous les éléments de la classe Point
- **ajoute** un nom et les opérations pour manipuler le nom
- **redéfinit** la méthode afficher (pour afficher le nom et les coordonnées du point)
- Point est la super-classe, PointNommé la sous-classe

- Souvent associé au **sous-typage** :

Partout où on attend un Point, on peut mettre un PointNommé.

- Attention, ceci dépend des langages !
- En Python, c'est juste de la réutilisation même si c'est souvent associé au sous-typage. Python pratique le *duck typing* : le type est défini par l'ensemble des méthodes et attributs d'un objet.

- **Redéfinition** : Donner une nouvelle implantation à une méthode déjà présente dans une super-classe (*override*, en anglais).

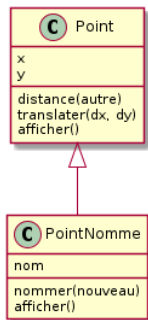
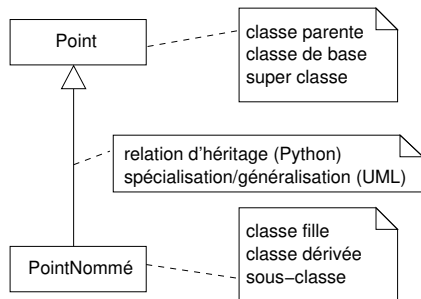
- Certains auteurs parlent de surcharge (*overload*).

- **Polymorphisme** : plusieurs formes pour la même méthode.

- plusieurs versions de la méthode afficher dans PointNommé, la sienne et celle de Point

Notation et vocabulaire

Notation UML



Notation en Python

```
class PointNommé(Point):           # PointNommé hérite de Point
    ...
```

Vocabulaire : On parle d'ancêtres et de descendants (transitivité de la relation d'héritage)

La classe PointNommé

```

1  class PointNomme(Point):      # La classe PointNommé hérite de Point
2      def __init__(self, nom, x=0, y=0):
3          super().__init__(x, y) # initialiser la partie Point du PointNommé
4          self.nom = nom         # un nouvel attribut
5
6      def __str__(self):         # redéfinition
7          return f"{self.nom}:{super().__str__()}"
8                                 # utilisation de la version de __str__ dans Point
9
10     def nommer(self, nouveau_nom): # une nouvelle méthode
11         self.nom = nouveau_nom

```

Remarques :

- Il y a bien redéfinition de la méthode `__str__` de `Point` dans `PointNommé`.
- Les méthodes de `Point` sont héritées par `PointNommé` (ex : `translater`, `distance`)
- `super()` est recommandé pour appeler la méthode des super-classes. Voir <https://rhettinger.wordpress.com/2011/05/26/super-considered-super/>
`super()` raccourci pour `super(PointNomme, self)` ici
- Ancienne solution : `Point.__init__(self, x, y)` et `Point.__str__(self)`

Le nouveau schéma avec les point nommés

```

1 def exemple():
2     # créer les points sommets du triangle
3     p1 = PointNomme("A", 3, 2)
4     p2 = PointNomme("S", 6, 9)
5     p3 = Point(11, 4)
6
7     # créer les trois segments
8     s12 = Segment(p1, p2)
9     s23 = Segment(p2, p3)
10    s31 = Segment(p3, p1)
11
12    # créer le barycentre
13    sx = (p1.x + p2.x + p3.x) / 3.0
14    sy = (p1.y + p2.y + p3.y) / 3.0
15    barycentre = PointNomme("G", sx, sy)
16
17    # construire le schéma
18    schema = [s12, s23, s31, barycentre];
19
20    # afficher le schéma
21    for elt in schema:
22        print(elt)

```

Remarques :

- création de PointNommé au lieu de Point
- aucune modification sur la classe Point
- aucune modification sur la classe Segment
- ... mais on a ajouté PointNommé

Le résultat obtenu :

```

[A:(3.0 ; 2.0) - S:(6.0 ; 9.0)]
[S:(6.0 ; 9.0) - (11.0 ; 4.0)]
[(11.0 ; 4.0) - A:(3.0 ; 2.0)]
G:(6.666666666666667 ; 5.0)

```

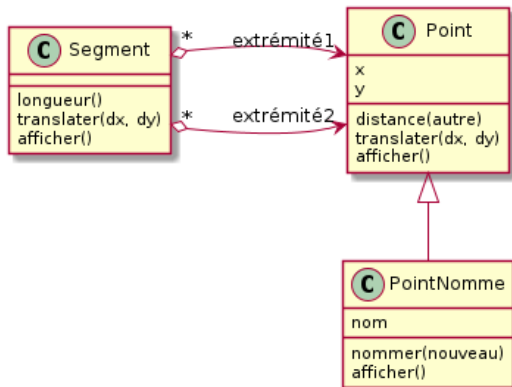
Remarque :

```

assert isinstance(p1, Point)
assert isinstance(p1, PointNomme)
assert isinstance(p3, Point)
assert not isinstance(p3, PointNomme)
assert isinstance(PointNomme, Point)

```

Nouveau diagramme de classe



Autres aspects

La classe object

- C'est l'ancêtre commun à toutes les classes.
- Quand on ne précise aucune superclasse, la classe hérite implicitement de **object**

Héritage multiple

- Python permet l'héritage multiple.
- Il suffit de lister toutes les super classes séparées par des virgules

```
class S(A, B, C):           # la classe S hérite de A, B et C
    pass
```

- L'ordre des classes à une importance et influt sur le MRO (Method Resolution Order) : linéarisation des classes parentes pour permettre le call-next-method :
 - il préserserve l'ordre de gauche à droite précisé dans chaque classe
 - une sous-classe apparaît avant ses superclasses
 - une même classe n'apparaît qu'une fois !
 - il est monotone : l'ajout de nouvelles sous-classes ne modifie par le MRO des superclasses.

Aspect méthodologique

Comment définir une classe par spécialisation ?

- 1 Est-ce qu'il y a des méthodes de la super-classe à adapter ?
 - redéfinir les méthodes à adapter !
 - attention, il y a des règles sur la redéfinition : fonctionner au moins dans les mêmes cas et faire au moins ce qui est attendu
- 2 Enrichir la classe : définir de nouveaux attributs et méthodes.
- 3 Tester la classe
 - Comme toute classe !

Comment ajouter un nouveau type de point, point pondéré par exemple ?

- 1 Choisir de faire une spécialisation de la classe Point.
 - Une nouvelle classe à côté des autres
 - On ne risque pas de casser le système
- 2 Écrire la classe
 - Redéfinir la méthode afficher (afficher)
 - Ajouter masse et set_masse
 - Tester (y compris en tant que Point)
- 3 Intégrer dans le système en proposant de créer des PointPondérés

Exercice 10 Écrire la classe PointPondéré.

Comptes bancaires... la suite

Exercice 11 : Comptes courants

La banque gère aussi des comptes courants. Chaque compte courant conserve l'historique des opérations qui le concernent (on se limite ici aux opérations de crédit et de débit). En plus des opérations déjà disponibles sur un compte simple, on peut éditer un relevé de compte qui fait apparaître toutes les opérations réalisées sur le compte et le solde final.

11.1. Compléter le diagramme UML pour faire apparaître la classe CompteCourant.

11.2. Écrire et tester la classe CompteCourant.

Exercice 12 : Compléter la banque

12.1. Ajouter une opération pour permettre d'ouvrir un compte courant.

12.2. Tester que les opérations existantes de la banque fonctionnent bien, que l'on ouvre des comptes simples ou des comptes courants.

12.3. Ajouter une opération pour éditer le relevé des comptes gérés par la banque.

Exercice 13 : Numéros de comptes

Pour les différencier, chaque compte possède un numéro unique. On suppose que les numéros sont des entiers et qu'ils sont attribués par ordre croissant en commençant à 10001. Les numéros de compte sont donc 10001, 10002, 10003, etc. Dans la suite, nous envisageons deux solutions pour attribuer les numéros de compte.

13.1. On souhaite que l'attribution du numéro de compte soit de la responsabilité des classes CompteSimple et CompteCourant. Indiquer les modifications à apporter à l'application.

13.2. On suppose maintenant que c'est la banque qui gère et attribue les numéros de compte. Indiquer les modifications à apporter à l'application.

Duck typing (typage canard)

Principe : Si un objet dispose des attributs et des méthodes que l'on souhaite utiliser, c'est qu'il a le bon type.

« Si je vois un oiseau qui vole comme un canard, cancale comme un canard, et nage comme un canard, alors j'appelle cet oiseau un canard » (James Whitcomb Riley)

Exemple : (Inspiré de La programmation orientée objet en Python)

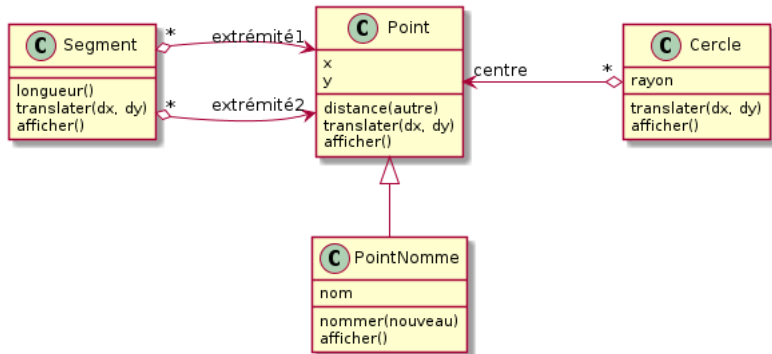
```
class StrangeFile:
    def write(self, s):
        print(s[::-1], end='')
```

```
f = StrangeFile()
print('foo', file=f)
```

affiche 'oof'.

Ça marche... car la méthode attendue par **print** est présente.

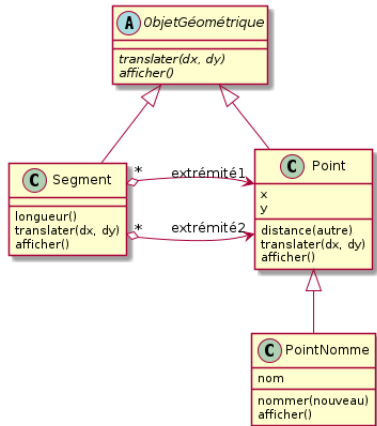
Diagramme de classe... avec une nouvelle classe



Comment imposer que sur chaque nouvel objet géométrique soient définies les méthodes `translater` et `afficher` ?

La classe ObjetGéométrique

Solution : Définir une nouvelle classe qui généralise Point, Segment, Cercle, etc.



Première idée :

```

1 class ObjetGeometrique:
2     def translater(self, dx, dy):
3         pass
4     def __str__(self):
5         pass
  
```

Meilleure idée :

```

1 class ObjetGeometrique:
2     def translater(self, dx, dy):
3         raise NotImplementedError
4     def __str__(self):
5         raise NotImplementedError
  
```

Question : On oublie de redéfinir la méthode translater dans Cercle. Comment le détecter ?

Classes abstraites et interfaces

Problème : La méthode `translater` étant définie dans `ObjetGéométrique`, pour détecter qu'on a oublié de la définir dans `Cercle`, il faut écrire un programme qui :

- crée un cercle
- translate le cercle

et constater que ça n'a pas eu l'effet escompté !

La bonne solution : dire que les méthodes sont abstraites et donc la classe abstraite !

Utilisation du module `abc` (Abstract Base Classes), PEP 3119.

```
1 import abc
2 class ObjetGeometrique(metaclass=abc.ABCMeta):
3     @abc.abstractmethod
4     def translater(self, dx, dy):
5         pass
6     @abc.abstractmethod
7     def __str__(self):
8         pass
```

L'erreur sera détectée dès la création de l'objet ! Beaucoup plus sûr !

Interface : classe complètement abstraite ⇒ **spécifier un comportement**, définir un contrat.

Sommaire

- 1 Exemple introductif
- 2 Classes et objets
- 3 Relations entre classes
- 4 Compléments**

- Unified Modeling Language (UML)

Unified Modeling Language (UML)

Principales caractéristiques d'UML [1, 2]

- notation graphique pour décrire les éléments d'un développement (objet)
- normalisée par l'OMG [3] (Object Management Group)
- version 1.0 en janvier 1997. Version actuelle : 2.5.1, 12/2017.
- *s'abstraire du langage de programmation et des détails d'implantation*

Utilisations possibles d'UML [2]

- **esquisse (*sketch*)** : communiquer avec les autres sur certains aspects
 - simplification du modèle : seuls les aspects importants sont présentés
 - échanger des idées, évaluer des alternatives (avant de coder), expliquer (après)
 - n'a pas pour but d'être complet
- **plan (*blueprint*)** : le modèle sert de base pour le programmeur
 - le modèle a pour but d'être complet
 - les choix de conception sont explicités
 - seuls les détails manquent (codage)
- **langage de programmation** : *le modèle est le code !*
 - pousser à l'extrême l'approche « plan »
⇒ mettre tous les détails dans le modèle
 - engendrer automatiquement le programme à partir du modèle.

Quelques outils UML

- Une liste des outils UML :
https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_Unified_Modeling_Language_tools
- Outil en SaaS : <https://www.genmymodel.com/>
- Production de diagramme UML à partir d'une description textuelle du diagramme :
PlantUML <http://plantuml.com/>
- Dans le monde Eclipse : Papyrus <https://eclipse.org/papyrus/> et UML Designer
<https://marketplace.eclipse.org/content/uml-designer>
- Umbrello <https://umbrello.kde.org/>
- BOUML <http://www.bouml.fr/>

Références

- [1] P.-A. Muller and N. Gaertner, *Modélisation objet avec UML*. Eyrolles, 2è ed., 2003.
- [2] M. Fowler, *UML 2.0*. CampusPress Référence, 2004.
- [3] OMG, “UML Resource Page.” <http://www.omg.org/uml/>.