ENSI CAEN
ÉCOLE PUBLIQUE D'INGÉNIEURS
CENTRE DE RECHERCHE

Chapitre 2
Le paradigme objet

1I2AC1 : Génie logiciel et Conception par objet

Régis Clouard, ENSICAEN - GREYC

« N'importe quel programmeur peut écrire
du code que l'ordinateur comprend.
Les bons programmeurs écrivent du code
que les humains peuvent comprendre. »
Martin Fowler

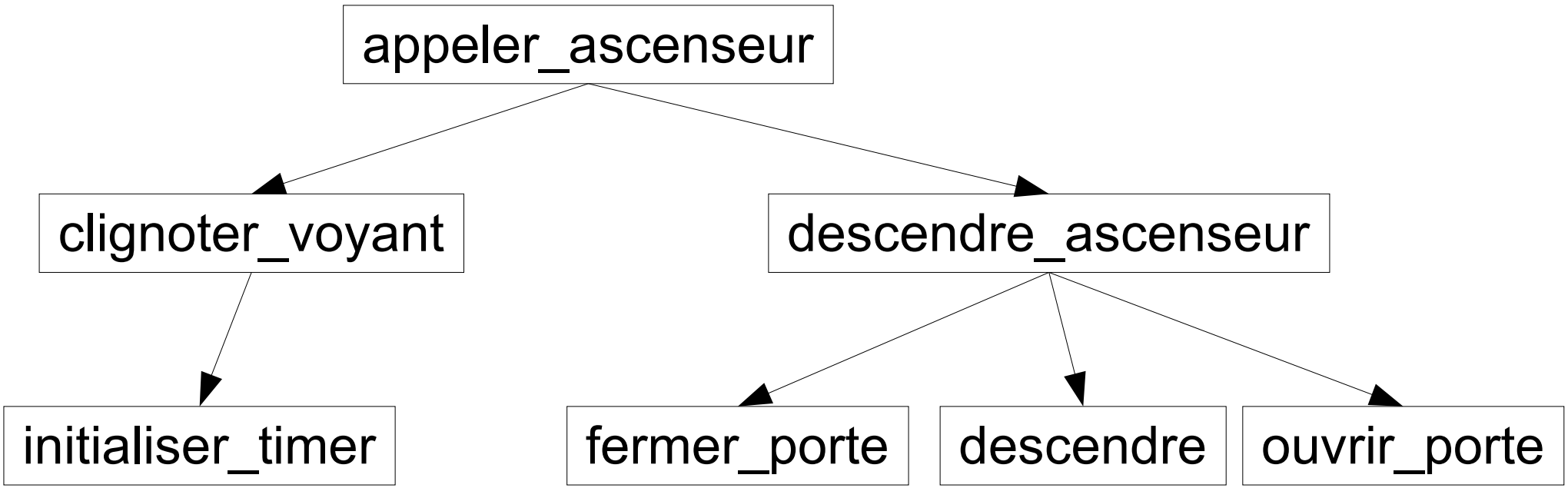
Objectif du chapitre

- Initiation au paradigme objet pour la conception logicielle.
  - Première approche de la conception objet.
- À l'issue de ce chapitre :
  - Vous serez capable de concevoir une modélisation qui tire profit des concepts introduits par le paradigme objet.
  - Vous saurez relire une modélisation objet.
  - Vous mesurerez l'intérêt du paradigme objet pour concevoir des logiciels complexes.

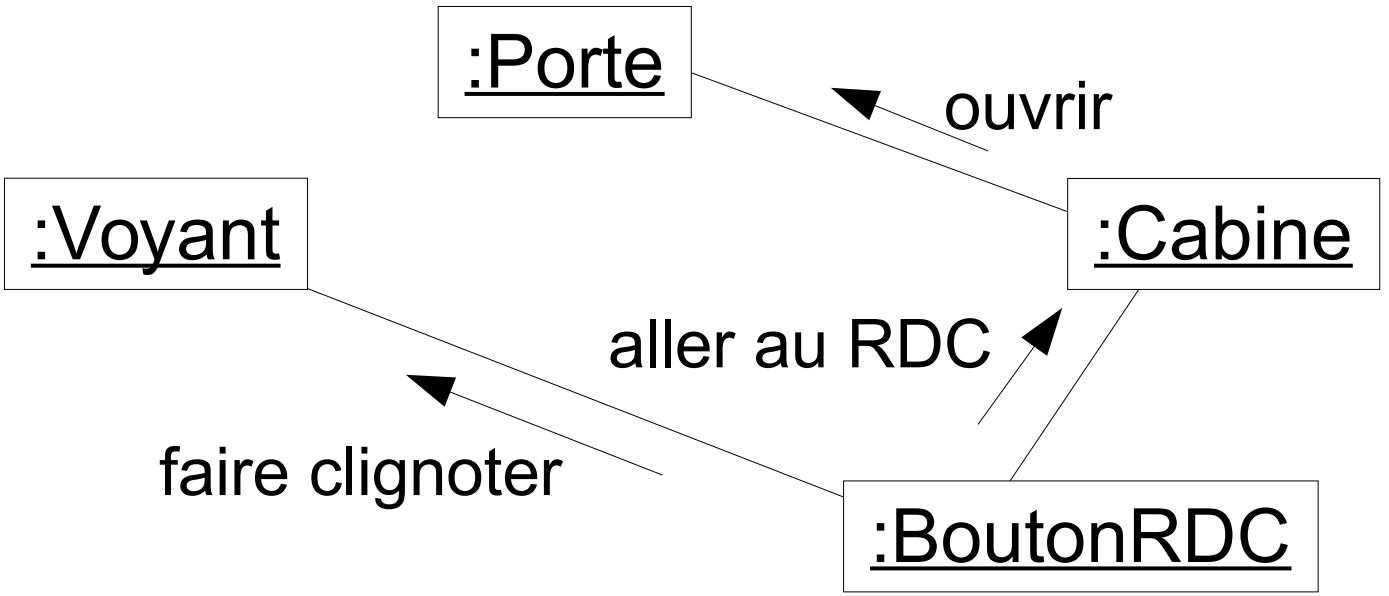
Plan du chapitre

Paradigme procédurale

- On s'intéresse aux traitements : actigramme.
  - Programme : enchaînement de procédures s’échangeant des données.
  - Les données sont **inertes** : elles sont modifiées par les procédures.



- On s'intéresse aux données : datagramme.
  - Programme : ensemble d'objets s'échangeant des services.
  - Les données sont **animées** : ce sont elles qui exécutent les procédures.



Conception procédurale

- Méthode de conception : **Algorithmique**.
  - Trouver la séquence d'appels de procédures.
- Avantages
  - Modélisation proche du fonctionnement de la machine.
  - Calculs de complexité.
  - Preuves de programmes dans certains cas.
- Limites
  - Modélisation inaccessible aux clients.
  - Inadaptée aux gros logiciels.
    - Nécessite de savoir résoudre le problème globalement pour l'implémenter.
    - Mélange conception et implémentation.
  - Enchaînement figé dans le temps.
  - Maintenance et réutilisabilité difficiles dues à l'interdépendance des procédures entre elles et avec les données.

Conception orientée objet

- Méthode de conception : **Modélisation**
  - Trouver les objets du domaine d'application à utiliser.
  - « Si je disposais d'un chapeau magique, quels **types de données** voudrais-je voir sortir du chapeau pour m'aider à résoudre le problème ? ».
- Avantages
  - Permet d'appréhender la complexité (gros logiciels).
    - On peut repousser le plus tard possible l'implémentation.
    - La conception est basée sur un raffinement progressif.
  - Maintenance et réutilisabilité facilitées : objet = bloc indépendant.
- Limites
  - Vision fractionnée du fonctionnement du logiciel.
  - Calculs de complexité et preuves difficiles (polymorphisme).

Langages de programmation objet

- Foisonnement de langages de programmation orientés objet.
  - Simula (Ole-Johan Dahl & Kristen Nygaard, 1963).
  - SmallTalk (Alan Kay, 1972), Eiffel (Bertrand Meyer ,1986) .
  - **C++** (Bjarne Stroustrup, 1983), Objective C, D.
  - **Java** (Sun MicroSystem, 1991), C# – *basés sur UML.*
  - **PHP**, **Python**, Perl, Clos.
  - Ruby, Scala.
- La différence entre langage procédural et langage orienté objet :
  - Ne concerne que quelques mots clés et types de données.
  - **Mais** ce sont deux paradigmes totalement différents.
  - Ce paradigme est difficile à appréhender par le langage.

Un formalisme de modélisation

- UML Unified Modeling Language (normalisé).
  - **Visuel** (à base de diagrammes).
  - **Indépendant** de tout langage de programmation.
  - Débarrassé des **contraintes syntaxiques**.
  - **Correspondance** forte avec les langages de programmation.
    UML ↔ Java, C++, Php, Python...

Grady Booch
BOOCH

James Rumbaugh
OMT

Ivar Jacobson
OOSE

Concepts de la conception objet

- La conception orientée objet s'appuie sur 5 concepts :
  - Objet
  - Classe
  - Association
  - Héritage
  - Polymorphisme

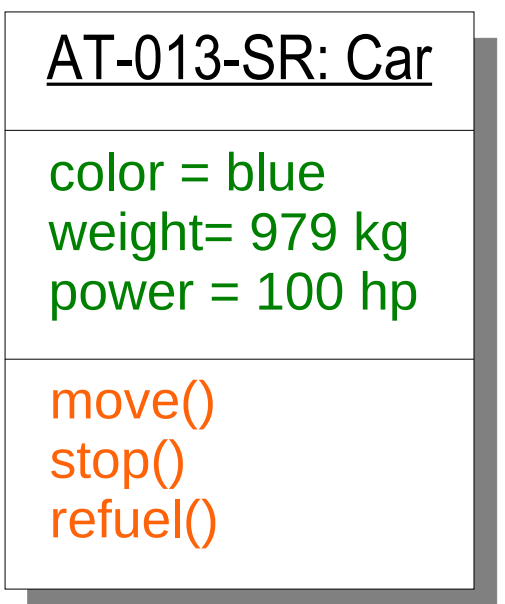
Plan du chapitre

1
Le paradigme objet

2
Les objets

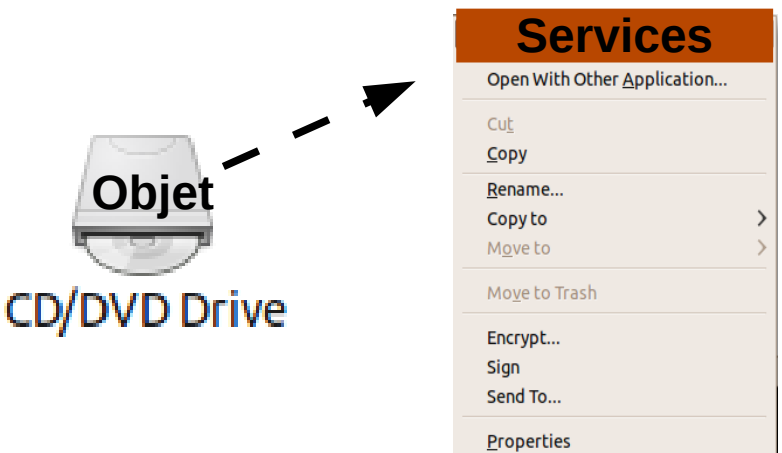
Notion d'objet

- Prosaïquement
  - **Objet = structure en C + pointeurs sur des procédures.**
- Conceptuellement
  - **Objet = attributs + méthodes.**
  - **Attribut** : **donnée** propre.
    - Possédant une valeur.
    - Évoluant au cours du temps.
  - **Méthode** : **procédure** associée.
    - Utilisant potentiellement les attributs pour fonctionner
    - Déclenchée par appel explicite.

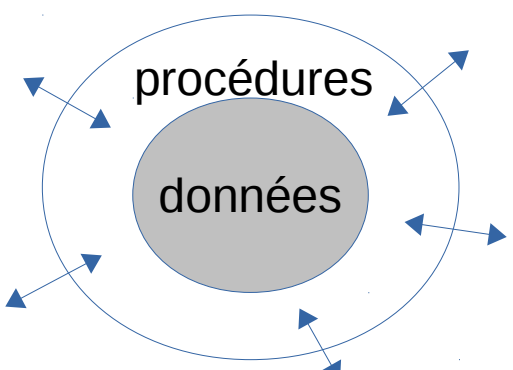


Encapsulation

- Penser un objet comme un **fournisseur de services** et pas comme une structure qui stocke des valeurs de données.

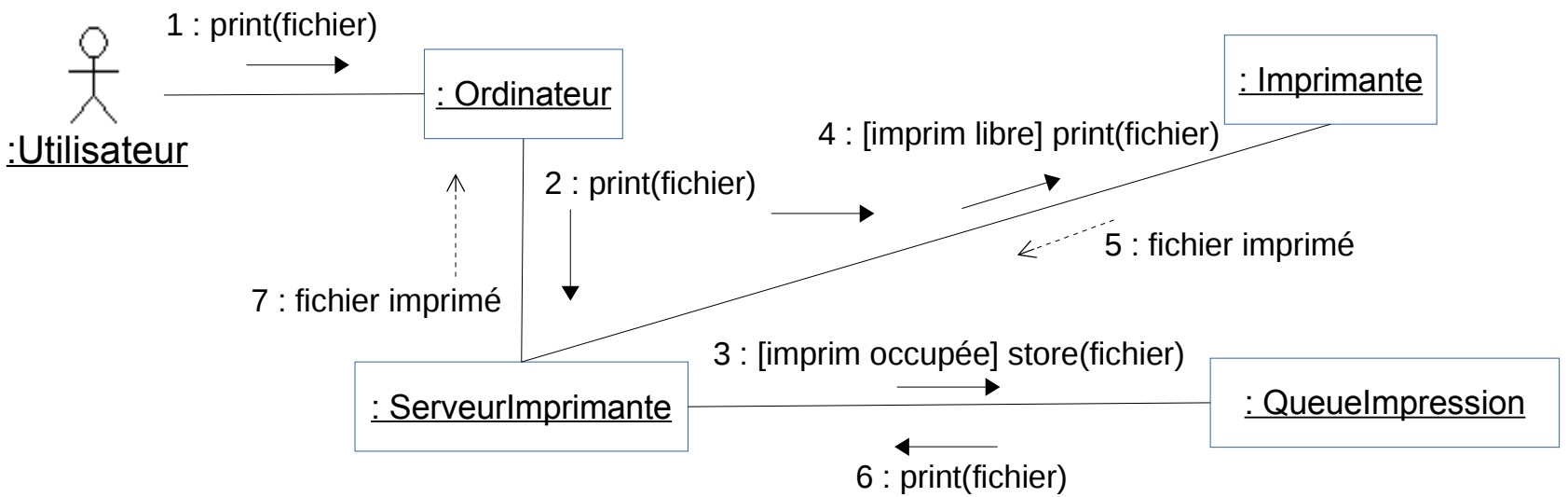


- Les données sont **cachées et protégées**, elles ne servent qu'à assurer les services.



Communication entre objets

- L'unité de communication est le **message**.
  - Appel d'une procédure d'un objet.
  - Relation de communication dynamique.
- Interactions pour réaliser les fonctionnalités du logiciel.
  - Séquence de messages échangés entre les objets.



Plan du chapitre

1
Le paradigme objet

2
Les objets

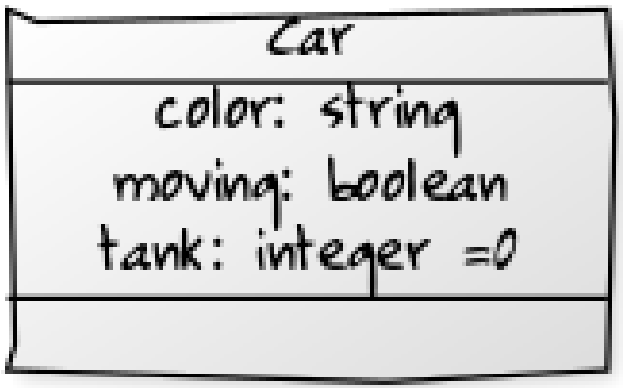
3
Les classes

Classe

- Représente un **concept** du problème.
  - Concept : *une entité ayant une représentation dans le monde de la modélisation*.
- Une classe est une génératrice d'objets qui définit :
  - La liste des attributs.
  - La liste des méthodes.
  - La liste des relations avec les autres classes.
- Notation UML
  - *Rectangle.*
  - *Nom un substantif au **singulier**.*
  - *Casse : première lettre en majuscule et CamelCase.*

Attributs

- Données que possède tout objet de la classe.
  - Valeur unique pour chaque objet.
- **Important**
  - **Les attributs ne peuvent être que d'un type primitif (ou assimilé)** : float, double, boolean, int, char, enumerate, string, int[], date, time.
- Notation UML
  - *Placés dans un premier compartiment.*
  - *Nom : un substantif.*
  - *Casse : 1ere lettre en minuscule et camelCase.*
  - *On peut ajouter* :
    - *le type*.
    - *une valeur par défaut*.
    - *la multiplicité (pour les tableaux, ensembles, …).*

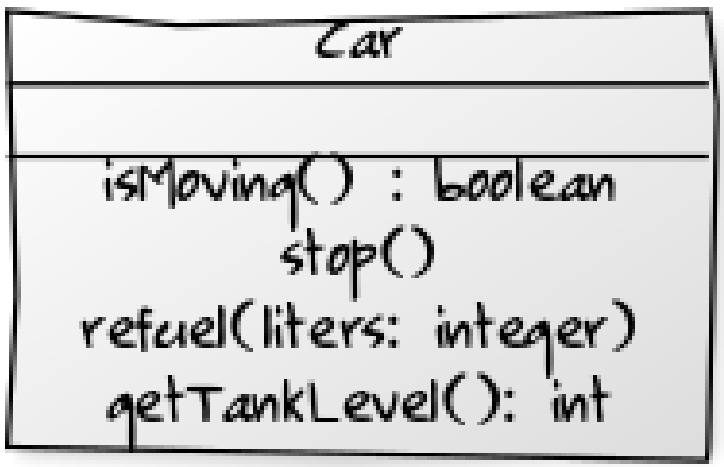


Méthodes

- Procédures qui définissent le comportement des objets.
  - Procédures classiques avec paramètres et valeur de retour.

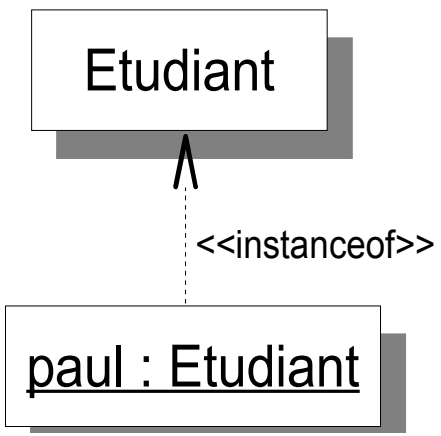
```
type_retour nom( paramètre_formel* ) { }
```

  - La signature d'une méthode :
    - nom + paramètres.
  - L'appel se fait par l'intermédiaire d'un objet de la classe.
- Notation UML
  - *Placées dans un deuxième compartiment.*
  - *Nom : un verbe.*
  - *Casse : 1ere lettre en minuscule et camelCase.*
  - *On peut ajouter* :
    - *La signature + la valeur de retour.*

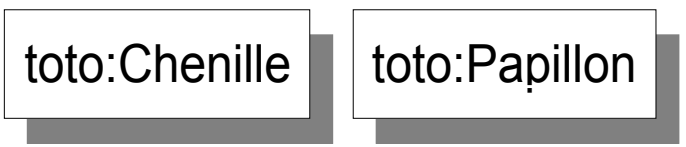


Objet : instance d'une classe

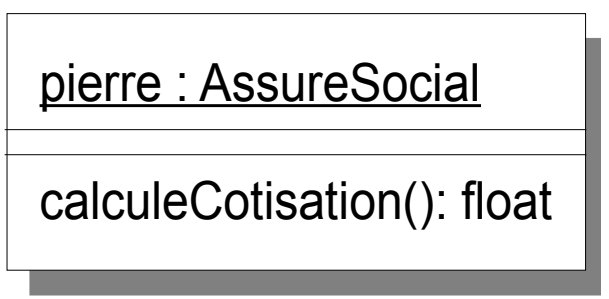
- Instance de classe :
  - Manifestation concrète d'une abstraction.
    - qui propose des méthodes comme un ensemble de services.
    - qui possède des attributs capables de mémoriser les effets des méthodes.
- Notation UML
  - *Un rectangle avec un nom souligné.*
  - *Nom : un substantif.*
  - *Casse : première lettre en minuscule et camelCase.*



- Caractère statique de l'instance.
  - une instance ne peut pas changer de classe.



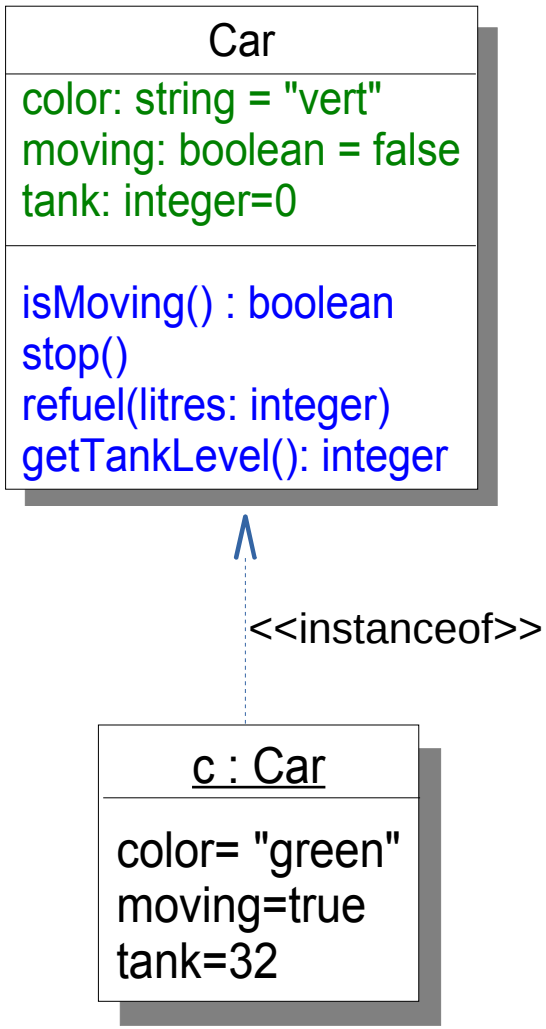
- Accès à un attribut ou à une méthode.
  - Notation pointée :
    - instance.attribut
    - instance.operation()
    - p.ex. pierre.calculeCotisation()
- L'auto-référence : 'this' ou 'self'.



Classe et Objet en Java

- Déclaration de la classe

```
class Car {
    String color = "green";
    boolean moving;
    int tank = 0;
    boolean isMoving(){ return moving; }
    void stop(){ moving = false; }
    void refuel(int liters){ tank = liters; }
    int getTankLevel(){ return tank; }
}
```



- Création d'un objet :
  - `Car c = new Car();`
- Appel de méthodes :
  - `c.stop(); c.refuel(32);`
- Destruction d'un objet :
  - `c = null;`

Plan du chapitre

1
Le paradigme objet

2
Les objets

3
Les classes

4
Associations entre classes

Association

- Relation organisationnelle.
  - Permet d'accéder aux instances de la classe associée.
- Notation UML

  - Cas particulier : association réflexive.

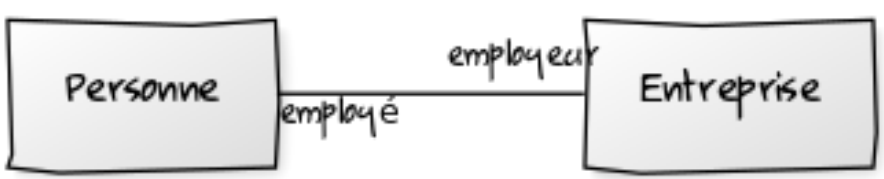
Navigabilité des associations

- Restreindre l'accessibilité à un sens unique.
- Notation UML
  - *une flèche ouverte.*

- Par défaut
  - Navigable dans les deux sens.
  - Notation UML.
    - *un trait entre les deux classes participantes.*

Rôle des associations

- Spécifier la fonction de la classe associée.
- Notation UML
  - *Placé sur le bout de flèche de l'association.*
  - *Casse : en minuscule.*
  - *En pratique : un substantif.*

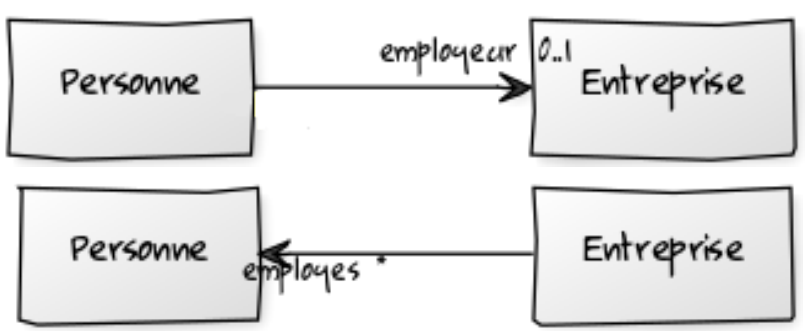


Multiplicité des associations

- Définir le nombre d'instances de l'association pour une instance de la classe.
  - Un nombre entier ou un intervalle de valeurs.

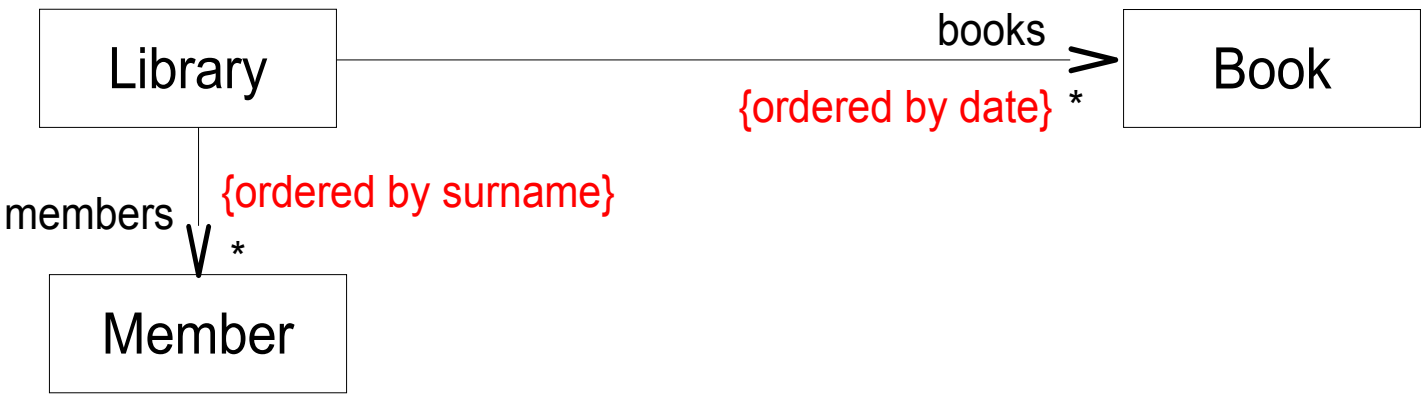
1	Une et une seule instance (par défaut)
0..1	Zéro ou une instance
M..N	De M à N instances
*	De zéro à plusieurs instances
1..*	De 1 à plusieurs instances
N	Exactement N instances

- Notation UML
  - *Notée avec le rôle.*
  - *Par défaut 1 (non notée).*

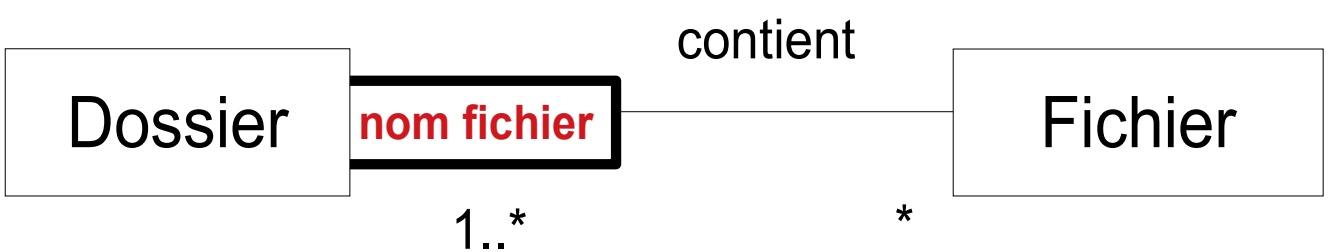


Contraintes sur les associations

- Association **ordonnée**.
  - unordered (c'est la valeur par défaut).
  - ordered : les associés sont stockés dans un ordre précis.



- Association **qualifiée** : tableau associatif.
  - Les éléments sont accessibles par une clé.

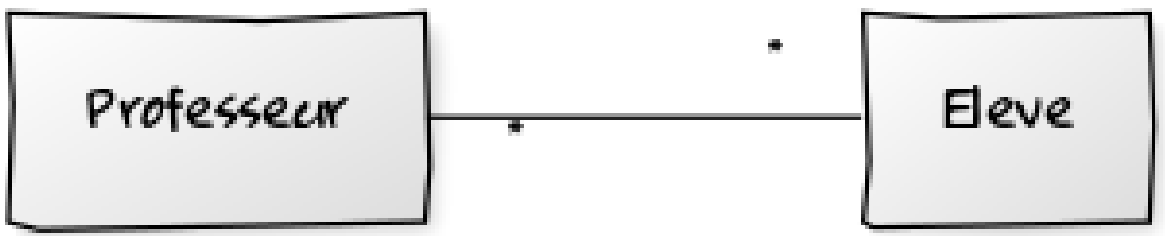


Types d’association

- 4 types d'association
  - standard
  - agrégation
  - composition
  - dépendance

Association standard

- Relation par défaut.
  - Relation de type « connaît ».
- Notation UML



Association de type agrégation

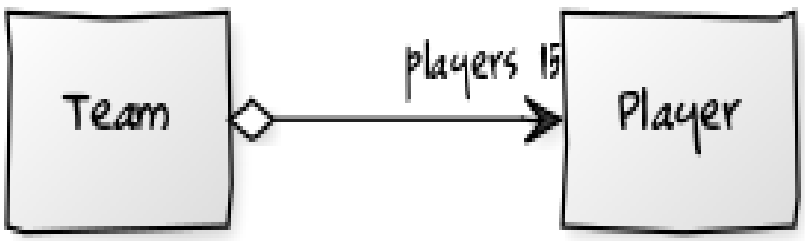
- Relation structurelle de **subordination** non symétrique de type « possède ».
  - Une classe joue le rôle d'agrégat et d'autres classes d'agrégés.
  - Relation à portée essentiellement sémantique.

Relation	Exemple
Composé / Composant	*Voiture / Roues*
Collection / Élément	*Forêt / Arbres*
Espace / Position	*Desert / Oasis*
Événement / Étape	*Document / Chapitre*

- Conséquences visibles sur le code :
  - des méthodes pour ajouter ou supprimer des éléments de l'agrégat.

Association de type agrégation

- Notation UML :
  - *Un losange vide du côté de l'agrégat.*



- Notation Java : tableau, liste, vecteur ...

```
class Team  {
    Player[] _players = new Player[15];
    void add( Player p, int i ) {
        _players[i]= p;
    }
}
class Player { }
```

Association de type composition

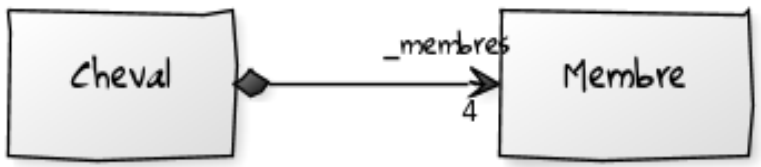
- Relation structurelle de **subordination** non symétrique de type « est constitué de ».
  - S'interprète comme si la classe composant était une partie intrinsèque et privée de la classe composite.

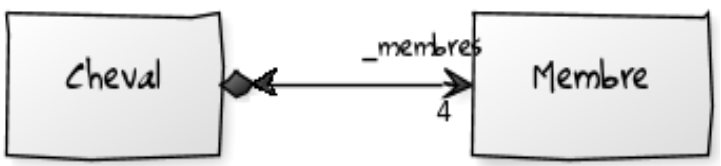
Relation	Exemple
Corps / Portion	*Corps / Tête*
Matière / Substance	*Eau / Hydrogène*
Activité / Phase	*Achat / Paiement*

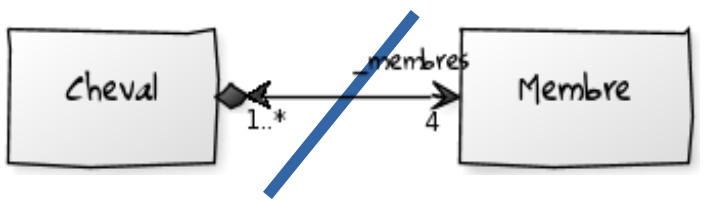
- Durée de vie
  - Si le composite est détruit (ou copié), les composants le sont aussi.
- Exclusivité
  - Une classe ne peut être le composant que d'une classe composite.
- Conséquences visibles sur le code
  - Le composant est caché dans la classe composite (p. ex. classe interne).

Association de type composition

- Notation UML
  - *Un losange plein du côté du composite.*
  - L'objet ne peut être partagé



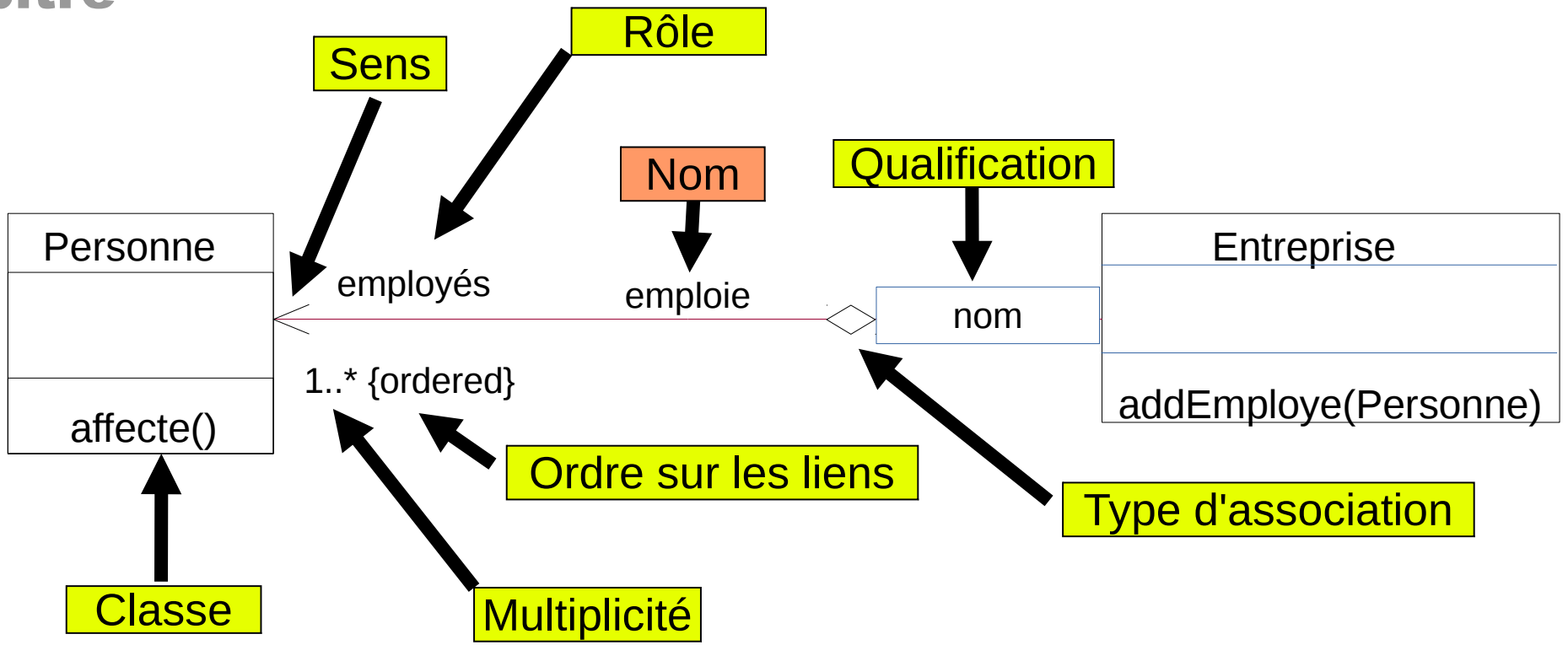




- Notation Java : tableau, liste, vecteur …
  - Le composé est une classe interne du composite.

```
class Cheval {
    Membre[] _membres = new Membre[4];
    Cheval ( ) {
        for (int i=0; i<4; i++) {
            _membres[i] = new Membre();
        }
    }
    class Membre { }
}
```

Résumé de la notation



- Importance des décorations d'association :
  - Forte implication forte dans le code : construction, destruction et choix de la structure de données pour représenter l'association.

Les associations en Java

- Association avec une multiplicité connue a priori.
  - Multiplicité 0 ou 1 : une référence.

```
class Personne {
    Entreprise employeur;
}
```

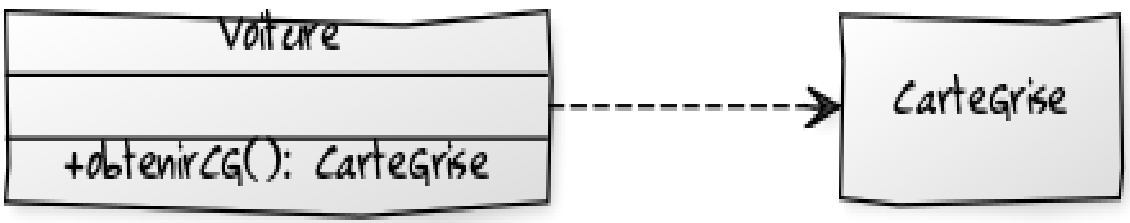
  - Multiplicité de N : un tableau de N références.

```
class Entreprise {
    Personne[10] employes;
}
```

- Association normale avec une multiplicité de '*'.
  - Vecteur ou liste : `ArrayList` ou `LinkedList`
- Association ordonnée.
  - Ensemble ou tableau associatif ordonnés : `TreeSet` ou `TreeMap`
- Association qualifiée.
  - Tableau associatif (table de hachage) : `HashMap`

Dépendance

- Relation lâche entre objets qui n'est **pas** de nature **structurelle**.
  - Lien dynamique.
    - p. ex. paramètre ou valeur de retour ou variable locale.
- Notation UML
  - *Une flèche pointillée.*



- Remarque
  - À noter que si cela est réellement explicatif.
- Notation Java

```
class Voiture {
    CarteGrise obtenirCG() {
        cg = new CarteGrise();
        cg.immatriculation="1234CG14";
        return gc;
    }
}
```

Plan du chapitre

1 Le paradigme objet

2 Les objets

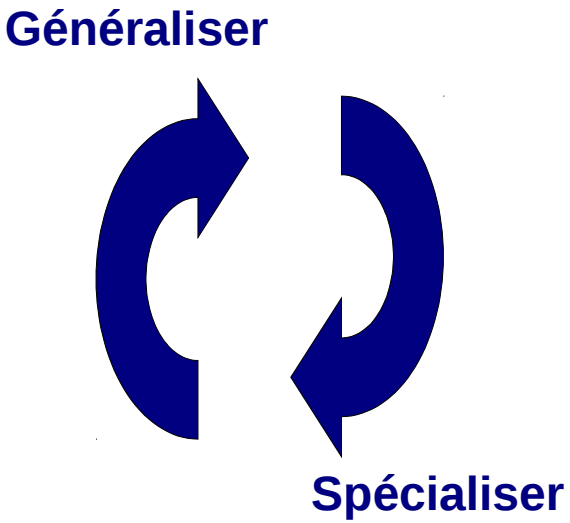
3 Les classes

4 Associations entre classes

5 Héritage et polymorphisme

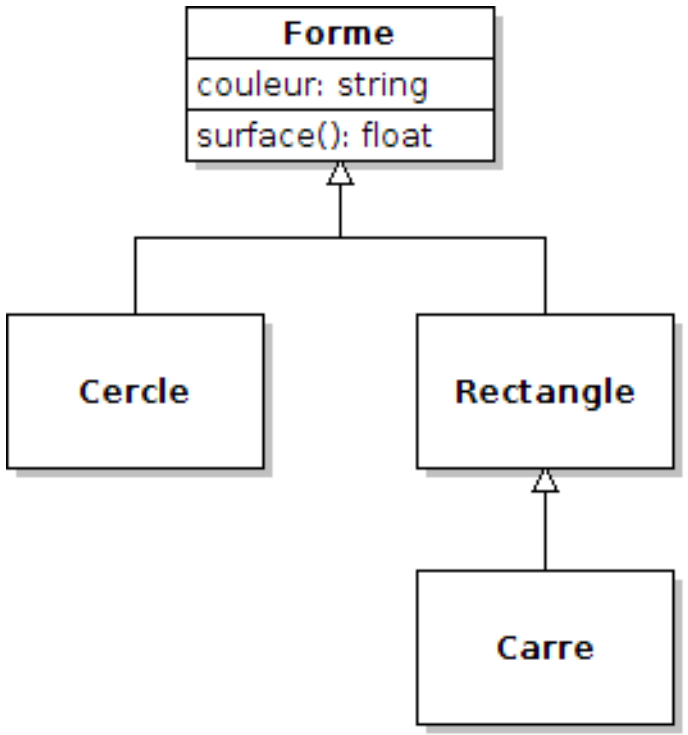
Généralisation et spécialisation

- Deux points de vue menant au mécanisme d'**héritage**.
  - **Généralisation**
    - Factoriser les éléments communs d'un ensemble de classes.
    - Une super-classe est une abstraction de ses sous-classes.
  - **Spécialisation**
    - Étendre les méthodes et les attributs.
    - Une sous-classe est un cas particulier de sa super-classe.



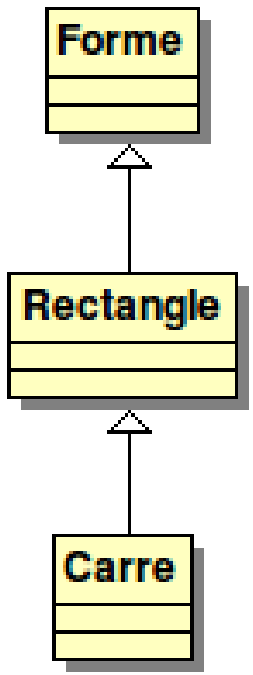
Héritage

- Relation très forte et **statique**.
  - Permet de construire une nouvelle classe à partir de classes existantes.
  - La classe dérivée contient par héritage tous les attributs et toutes les méthodes de la classe parent.
- Notation UML
  - *Une flèche triangulaire anonyme.*
- Vocabulaire
  - Super-classe (*super-class*) ou classe de base.
  - Sous-classe (*subclass*). ou classe dérivée (*derived class*).



Transtypage

- Sur-classement : **Upcasting**
  - Un objet d'une classe dérivée peut se faire passer pour un objet de sa super-classe.
  - La liste de ses services s'en trouve réduite à celle de la super-classe.
  - Le sur-classement consiste à référencer un objet d'une classe dérivée B héritant d'une classe A dans une variable de type A.

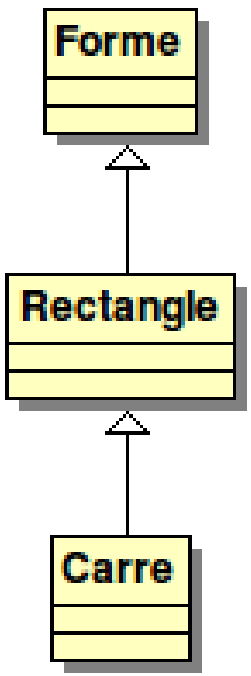



```
Forme c1  = new Carre();
  (accès aux seuls services de Forme)
Rectangle c2 = new Carre();
  (accès aux services de Forme et Rectangle)
Carre c3 = new Carre();
  (accès aux services de Forme, Rectangle et Carre)
```

Transtypage

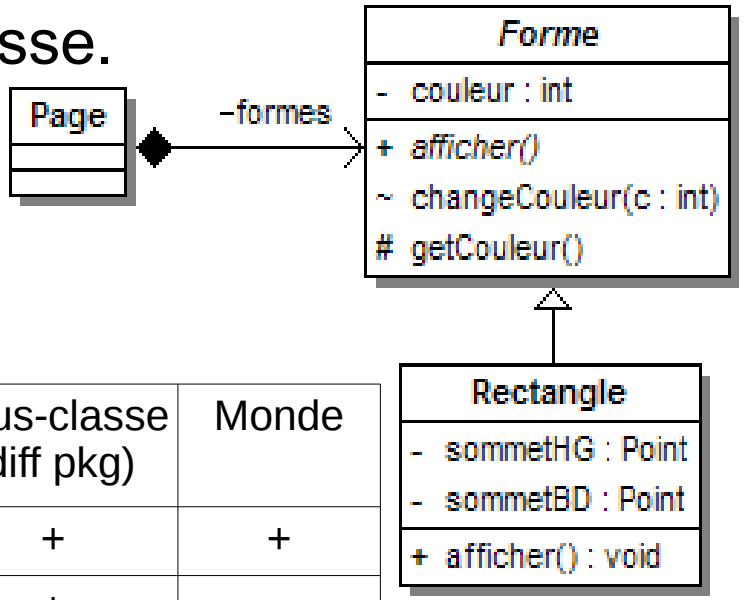
- Sous-classement : **Downcasting**
  - Le déclassement est le fait de convertir une référence sur une classe de base A vers une de ses classes dérivées B.
  - Un objet référencé comme un objet de la super-classe est ainsi promu en tant qu'objet de la classe dérivée.
  - Cette opération n'est possible que si l'objet est effectivement du type de la classe dérivée.

```
Forme r = new Rectangle();
Rectangle r1 = (Rectangle)r; // OK
Carre c = (Carre)r;   // Erreur à l'exécution
```



Visibilité des membres

- Restreindre l'accès aux membres de la classe.
  - Attributs
  - Méthodes
  - Associations



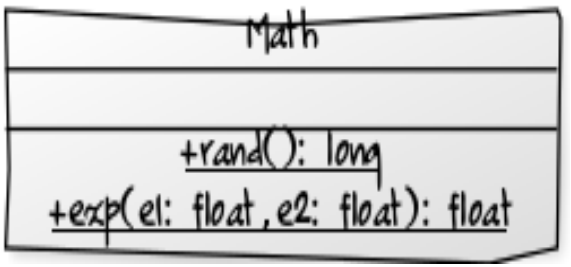
	Notation UML	Classe	Package	Sous-classe (même pkg)	Sous-classe (diff pkg)	Monde
public	+	+	+	+	+	+
protected	#	+	+	+	+	-
package	~	+	+	+	-	-
private	-	+	-	-	-	-

La visibilité des membres

- Remarques :
  - Un objet d'une classe peut accéder aux membres privés d'un objet de la même classe.
  - Les classes dérivées **ne peuvent pas diminuer la visibilité** d'une méthode redéfinie.
    - Contrainte due à la compilation qui n'a pas moyen de vérifier le respect d'une visibilité plus restrictive.
  - Pour des questions de sécurité et de maintenance de code, il est important de limiter le plus possible la visibilité des membres.
    - La visibilité par défaut doit être **privée**.
    - En particulier, **tous les attributs autres que les constantes doivent toujours être privés** (cf. encapsulation).

La portée des membres

- Portée syntaxique pour les attributs
  - **Niveau instance** : valeur distincte pour chaque instance.
  - **Niveau classe** : valeur partagée par toutes les instances.
- Portée syntaxique pour les méthodes
  - Une méthode de classe ne peut utiliser que des attributs de classe.
  - Ne nécessite pas d'instance pour appeler la méthode.
- Notation UML
  - *Nom de l'attribut ou de la méthode en souligné.*
- Notation Java : le mot clé 'static'.

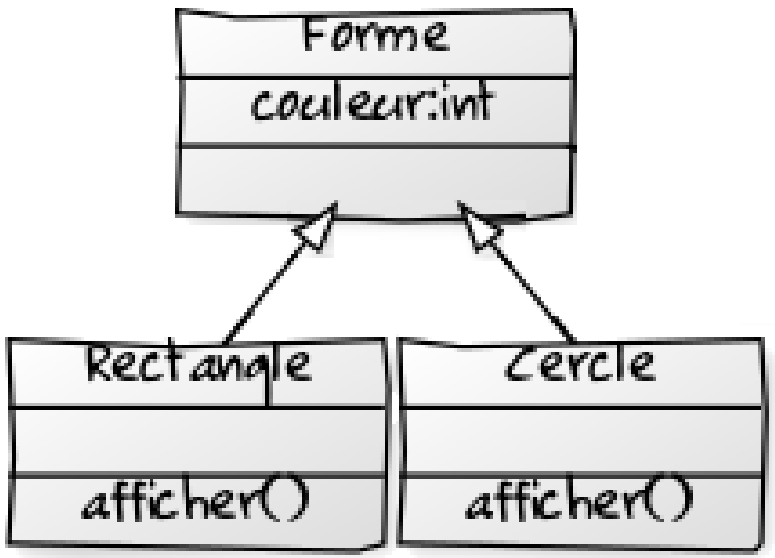



```
class Math {
  public static int PI = 3.141592;
  public static float exp(float e1, float e2){} }
Math.PI;
Math.exp(5.0f, 2.0f);
```

Notation Java

- L'héritage utilise le mot clé '*extends*'.

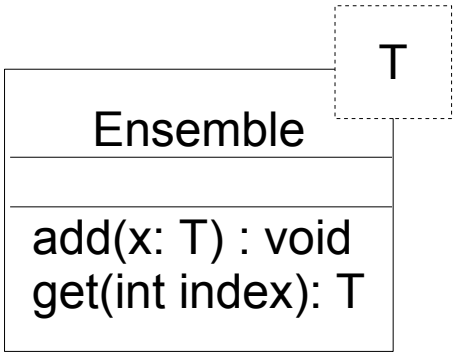
```
class Forme {
   int couleur;
}

class Cercle extends Forme {
   int rayon
   void afficher() { ... }
}

class Rectangle extends Forme {
   void afficher() { ... }
}

static void main(String args[]) {
   Cercle cercle = new Cercle();
   cercle.couleur = 1;
   cercle.afficher();
}
```



Classe paramétrée

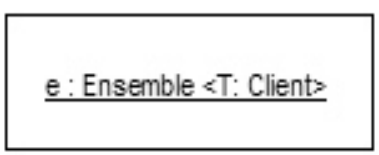
- Nommée *generics* en Java (*template* en C++).
  - Un type générique à instancier.
- Notation Java

```
public class Ensemble<T> {
    public Ensemble() {}
    public void add(T x) { .. }
    public T get(int index) { .. }
}
```



- Classe paramétrée
  - Instanciation au moment de la déclaration.
  - En Java :

```
Ensemble<Client> e = new Ensemble<Client>();
e.add(new Client());
Client c = e.get(0);
Ensemble<Integer> s = new Ensemble<Integer>();
```



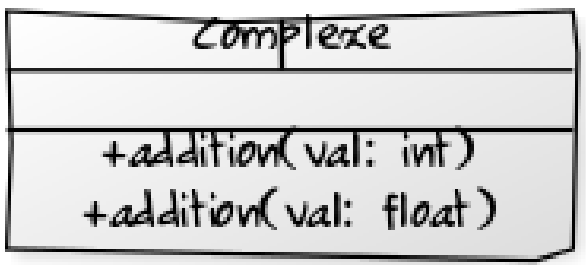
La portée des noms

- Il est possible de définir des méthodes de même nom dans des **classes** sans rapport entre elles.
  - Permet de garder une vision locale des classes sans problème de conflit de nom avec d'autres classes.
  - Exemple

- Le choix de la méthode **est fait à la compilation**.
  - À partir de la classe de l'objet appelant.
  - Liaison statique (*early binding*)

La surcharge

- Surcharge (*overloading*)
  - Dans une même portée, donner un même nom à des méthodes de signatures différentes.
  - Permet de définir des procédures adaptées aux paramètres.
  - Exemple :

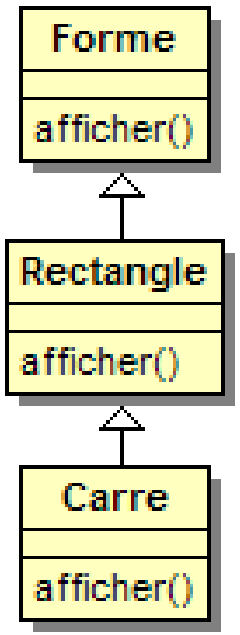


- Le choix de la méthode **est fait à la compilation**.
  - À partir de la signature (liste des paramètres effectifs).
  - Liaison statique (*early binding*).

Le polymorphisme

Redéfinition (*overriding*)

- Dans une même hiérarchie, donner le même nom à des méthodes de même **signature**.
- Exemple :

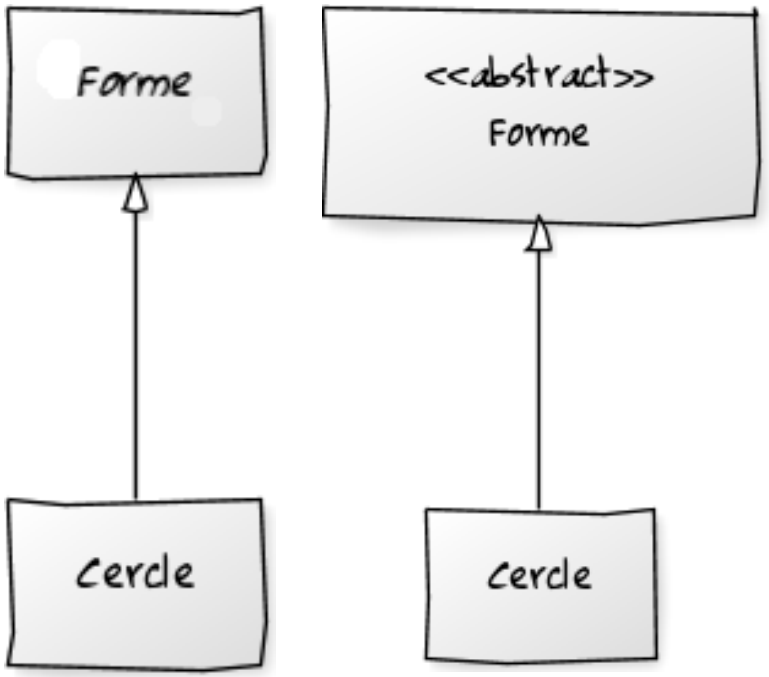


- Le choix de la méthode **est fait à l'exécution**.
  - À partir du type de l'objet appelant.
  - Liaison dynamique (*late binding*).

Classe abstraite

- Une classe dont on ne peut pas créer d'instance.
- Conséquence
  - Une classe abstraite doit forcément posséder des classes dérivées.
- Notation UML
  - *Nom en italique*
  - *ou stéréotype* <<abstract>>
- Notation Java : le mot clé 'abstract'

```
public abstract class Forme() {
}
```



- Si on ne peut pas créer d'instance directe, on peut créer des références de ce type par upcasting :

```
Forme f = new Cercle();
```

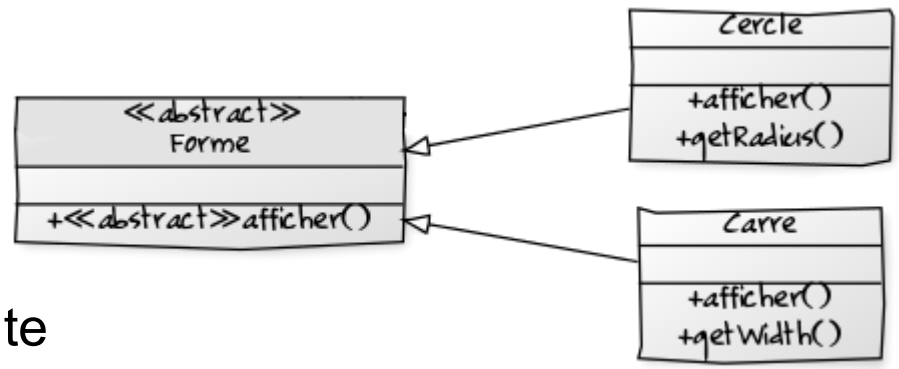
Méthode abstraite

- Méthode sans implantation (sans code).
- Notation UML :
  - *Nom en italique ou stéréotype* `<<abstract>>`.
- Notation Java : le mot clé 'abstract'

```
abstract public void afficher();
```

- Rôle : obliger les classes dérivées à redéfinir la méthode.
  - Exemple en Java

```
Forme c1 = new Cercle();
c1.afficher();
```



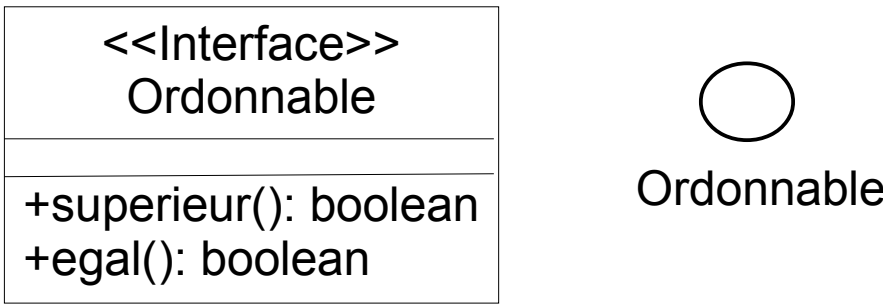
- Conséquences
  - Une classe avec une méthode abstraite doit être une classe abstraite.
  - Une classe abstraite peut ne contenir que des méthodes concrètes.

Notion de type

- Type
  - **Définit une liste de services** que doit posséder une classe pour être du type.
  - Oblige une classe de ce type à implémenter ces services.
  - Le but est de garantir que le service existe quand une classe utilise une classe de ce type.
- Un objet ne peut appartenir qu'à une classe mais peut être de plusieurs types.
- Exemple
  - Objets de la classe Carré.
  - et de type :
    - Imprimable (service *print()*)
    - Ordonnable (service *sort()*)
    - Affichable (service *display()*), etc

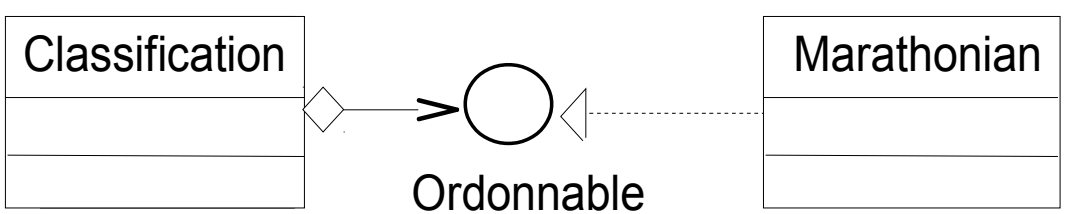
Interface

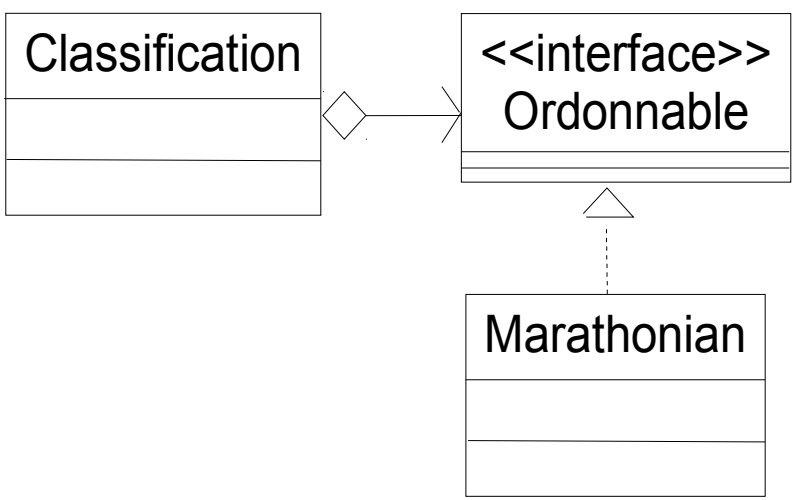
- La notion de type est implémentée en COO par une interface.
  - Une structure dont toutes les **méthodes sont abstraites**.
  - Une structure qui **ne possède pas d'attribut**.
- Une classe peut implémenter plusieurs interfaces.
- Notations UML : deux alternatives.
  - *Une classe normale stéréotypée* `<<interface>>`
  - *Un rond nommé.*



Interface

- Relation d'implémentation
  - Une classe qui implémente une interface doit définir toutes les méthodes de l'interface.
  - On peut toujours définir une référence sur un type.
    - `Ordonable o = new Marathonien();`
  - Par contre, on ne peut pas créer d'objet d'un type donné.
    - ~~`Ordonable o = new Ordonable();`~~
- Notation UML
  - *Flèche fermée avec trait en pointillé.*

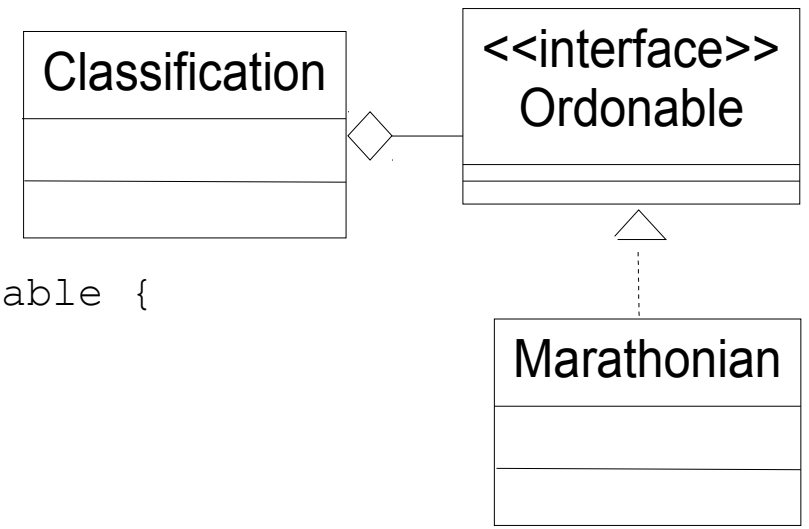




Interface

- Notation Java :

```
public interface Ordonnable {
  public boolean superieur();
  public boolean egal();
}
public class Marathonian implements Ordonnable {
  public boolean superieur() {..}
  public boolean egal() {..}
  // méthodes spécifiques
}
public class Classification {
    ArrayList<Ordonnable> coureurs;
    …
    coureurs.get(1).superieur(coureurs.get(2));
}
```

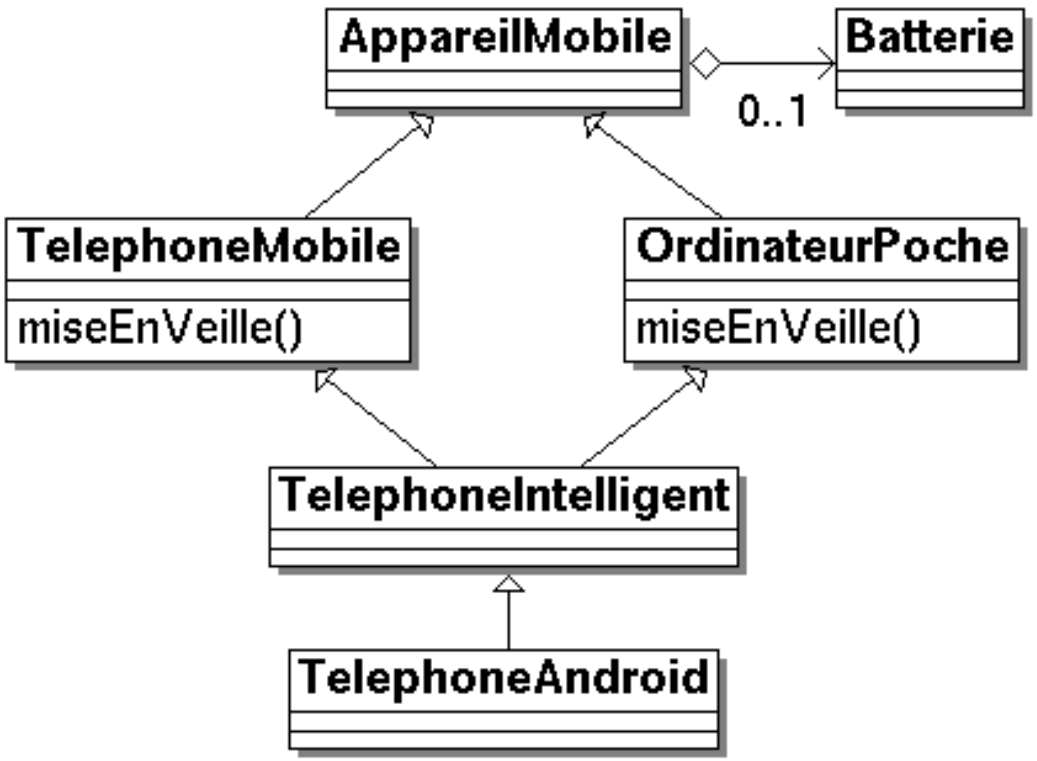


Cas de l'héritage multiple

- L'héritage multiple est possible en UML
  - Mais son emploi est déconseillé pour les difficultés qui peuvent apparaître lors de l'implémentation avec un langage de programmation.
  - Problème du diamant

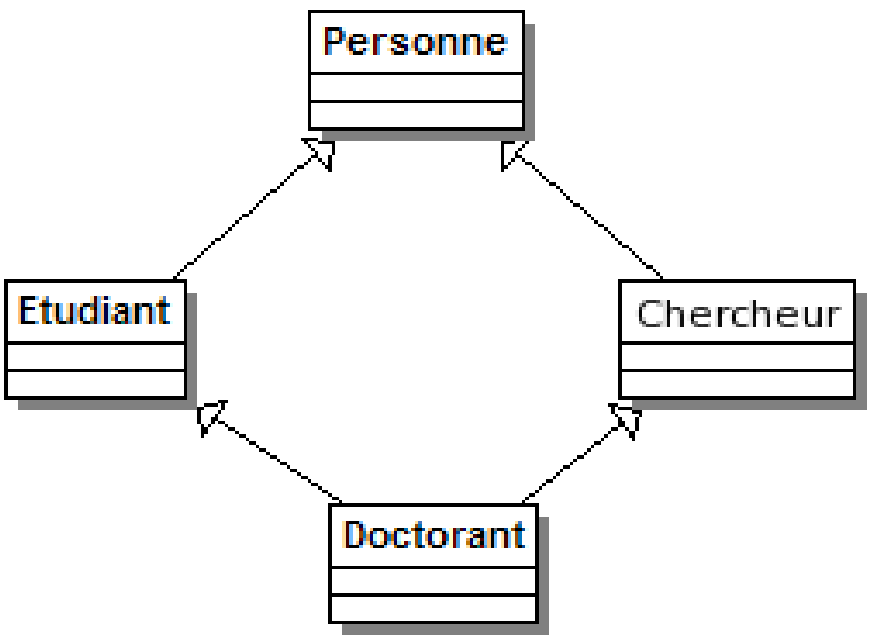
- Combien de batterie ?
- Quelle méthode est appelée ?

```
t = new TelephoneAndroid()
t.miseEnVeille();
```



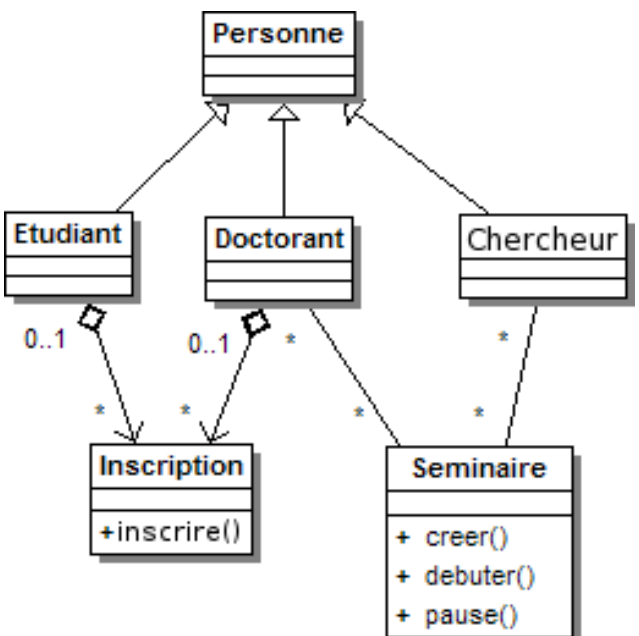
Avons nous besoin de l'héritage multiple ?

- Héritage
  - L'erreur consiste à utiliser l'héritage pour le partage de ressources communes.
  - Par exemple un doctorant :
    - possède une procédure d'inscription comme un étudiant.
    - peut assister à des séminaires de recherche comme un chercheur.



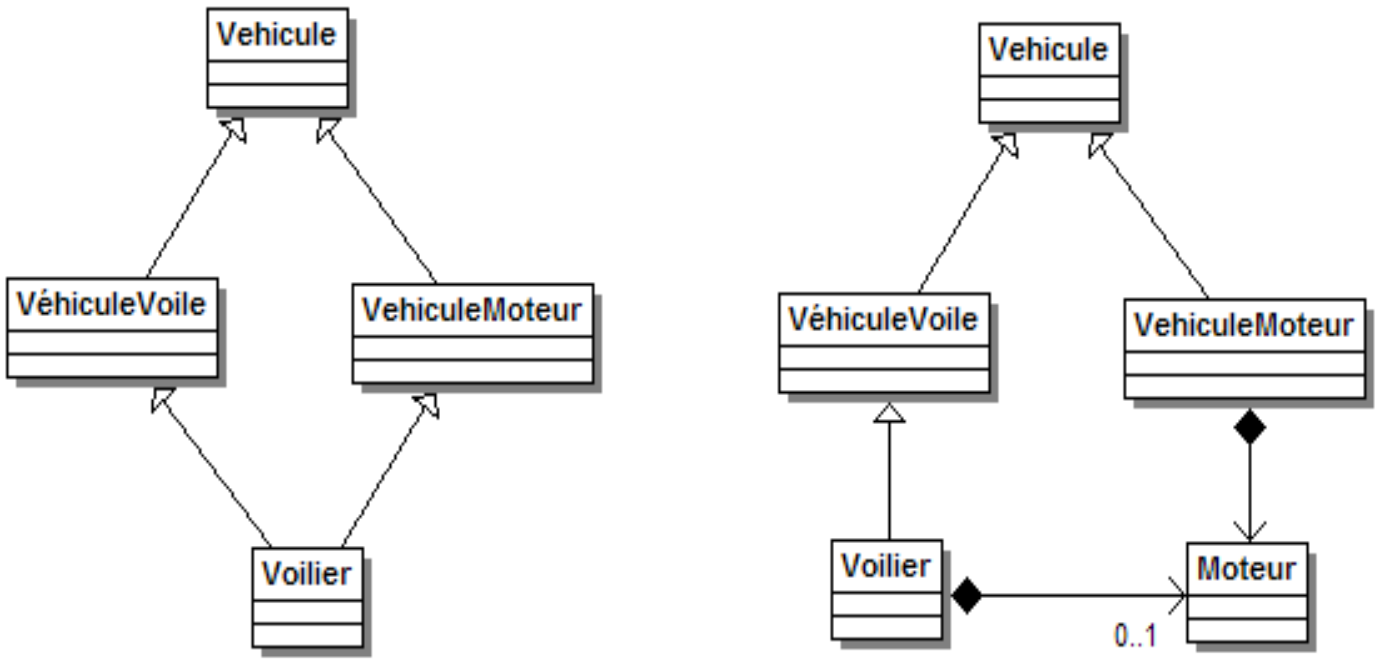
Solution

- L'héritage ne doit être utilisé que pour la catégorisation.
  - Par exemple, un doctorant n'est pas un chercheur.
- Solution
  - Faire des sous-classes strictement exclusives.
  - Utilisation d'une agrégation pour le partage de ressources (*abstraction hypostatique*).



Solution

- L'abstraction hypostatique est aussi utilisée pour le partage d'attributs.
  - Par exemple, le voilier est d'abord un véhicule à voile qui possède un moteur comme les véhicules à moteur. Le moteur est externalisé et partagé par les deux classes.



Les traits

- L'abstraction hypostatique peut facilement s'implémenter par un **trait**.
  - Un trait est une interface qui encapsule un ensemble cohérent de méthodes à caractère transverse et réutilisable.
- Implémentation Java.
  - Une interface avec une méthode.

```
public interface Inscrivable {
    default void inscrire( ) { … }
}
public class Etudiant implements Inscrivable {
    // peut utiliser directement inscrire() de Inscrivale.
}
public class Doctorant implements Inscrivable {
    // peut utiliser directement inscrire() de Inscrivale.
}
```

Remarque

- La notion d'héritage multiple n'est ni un concept fondateur ni même nécessaire à la Conception Orientée Objet (COO).
  - Tous les langages à objets n'implémentent pas l'héritage multiple (eg. notamment les langages orientés développement de logiciels les plus récents : Java, C#, Scala, Ruby).
  - L'héritage multiple est utilisé pour d'autres principes que la généralisation.
    - p. ex. implémenter la notion d'interface en C++.

Que retenir de ce chapitre ?

- Le paradigme objet définit plusieurs concepts importants :
  - Classe et objet.
  - Encapsulation.
  - Relations.
    - Association.
      - Standard, Agrégation, Composition, Dépendance.
    - Héritage et polymorphisme.
  - Classe et Type.
- Dans l'utilisation de ces concepts, le développeur doit respecter deux principes fondamentaux :
  - Restreindre le plus possible la visibilité des membres pour respecter le principe d'encapsulation.
  - Exprimer le plus de choses statiquement pour être vérifiables par le compilateur.