Programmation Modulaire Initiation au génie logiciel : modularité, encapsulation

Florent Hivert

Mél : Florent.Hivert@lri.fr
Adresse universelle : http://www.lri.fr/~hivert

Plan

université PARIS-SACLAY | FACULTÉ DES SCIENCES D'ORSAY Qu'est-ce que le génie logiciel
3 de 61

Petit historique de l'évolution de l'informatique

- Jusqu'en 1985, les ordinateurs appartenaient à des sociétés ou des institutions. Les logiciels étaient développés par des membres des institutions pour leurs propres besoins.
- 1970 – Nouvelles notions : multi-utilisateur, les interfaces graphiques, la programmation concurrente, les bases de données et le temps réel. Conséquence : logiciels beaucoup plus sophistiqués
- 1980 – Ordinateur personnel, progiciels — des logiciels prêts-à-porter.
- 1985-2000 – Systèmes distribués, Internet, client-serveur, cloud computing. Le logiciel devient un élément d'un ensemble. Plusieurs ordinateurs et plusieurs logiciels travaillent en collectivité.

Petit historique de l'évolution de l'informatique

- Les machines vont de plus en plus vite, elles sont donc capables d'effectuer des opérations de plus en plus complexes
- On écrit de plus en plus de logiciels, les logiciels sont de plus en plus gros

Retenir

*Mais, on constate que le **nombre d'erreurs par lignes de code** est en gros indépendant du langage.*

La crise du logiciel

Jusqu'en 1970, on écrivait les logiciels de manière artisanale...

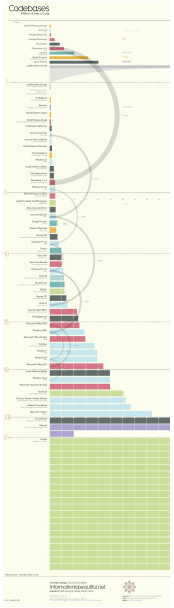
Problème

Autour de 1970, crise du logiciel :

- **baisse significative de qualité des logiciels**
- début de l'**utilisation des circuits intégrés** dans les ordinateurs
- L'**augmentation de la puissance de calcul** des ordinateurs a permis de réaliser des logiciels **beaucoup plus complexes** qu'auparavant.

Combien de lignes de code

- Voir combien de ligne de code
- Google Chrome, World of WarCraft = 5 millions de LoC
- Facebook = 50 millions de LoC
- Apple Mac OS X = 80 millions de LoC
- Google = 20 milliards de LoC



Combien d'erreurs par lignes de code

Steve McConnell, auteur de «Code Complete» (1993) et «Software Estimation : Demystifying the Black Art» (2006) :

Unité : $d/kLoC$ = défauts par 1000 lignes de code.

- Code industriel moyen :
  - de l'ordre 15 – 50 $d/kLoC$ dans le code produit.
- Microsoft :
  - Environ 10 – 20 $d/kLoC$ lors des tests maison
  - 0.5 $d/kLoC$ dans le code produit
- En 1990, la technique *cleanroom development* permet de produire un taux de
  - 3 $d/kLoC$ lors des tests maison
  - 0.1 $d/kLoC$ dans le code produit

Combien d'erreur par lignes de code (2)

Selon Steve McConnell :

- «Quelques projets (par exemple la navette spatiale) ont atteint un taux de 0 défauts pour 500 000 lignes en utilisant des sytèmes de **développement formel, de revue par les pairs et de tests statistiques**».
- Mais chaque programmeur s'occupait de **2 600 lignes de code pendant 10 ans**, pour s'assurer de leur correction.

Problème

Combien d'entreprises permettent à leurs programmeurs une productivité de 260 lignes de code correct par an ?

Génie logiciel

Notion inventée par Margaret Hamilton, conceptrice du système embarqué du Programme Apollo.

Parenthèse : je recommande la vidéo :

Brian Troutwine
The Charming Genius of the Apollo Guidance Computer

`https://www.youtube.com/watch?v=d1nz7vgyUh8`

Pour guider le vaisseau spatial, l'AGC est le premier ordinateur :

- avec une interface utilisateur (clavier / écran)
- multitache (plusieurs programme en même temps)
- temps réel (le système délivrer les résultats exacts dans des délais imposés)

Génie logiciel

Lecture recommandée :
`https://fr.wikipedia.org/wiki/Génie_logiciel`

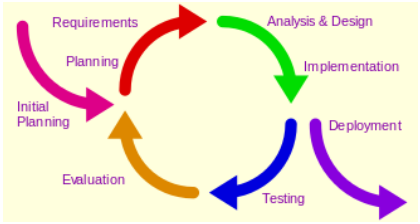
Retenir (arrêté ministériel du 30 décembre 1983)

*Le génie logiciel est **l'ensemble des activités de conception et de mise en œuvre des produits et des procédures tendant à rationaliser la production du logiciel et son suivi**.*

Mots clefs :

- code source, spécification, production
- cycle de vie des logiciels
- analyse du besoin, spécifications, développement, test, maintenance

Éléments de génie logiciel



- Planification du travail : architecture logicielle, développement de cadriciel (*framework*)
- Technique de division du travail : langage objet, programmation modulaire, programmation générique, *etc*
- Contrôle de qualité : revue de code, test, vérification formelle
- Solutions standards pour les problèmes courants : bonnes pratiques, patrons de conception (*design pattern*)
- Gestion de code : documentation, système de gestion de version, traqueur de bugs

Plan

université PARIS-SACLAY | FACULTÉ DES SCIENCES D'ORSAY Programmation modulaire 12 de 61

Initiation au génie logiciel

Nous allons nous intéresser particulièrement à un point :

Retenir (Programmation modulaire)

*Technique de programmation qui permet de diviser un gros programme en composants **(les modules)**. On peut ainsi*

- *développer les composants indépendamment (division du travail en équipes)*
- *tester les composants indépendamment*
- *les améliorer alors qu'ils sont déjà utilisés*
- *les réutiliser pour d'autres programmes*

Exemple : un sac de courses pour faire son marché !

Problème

Objectif : gestion / simulation d'un sac pouvant contenir

- des pommes
- des oranges
- des salades
- des morceaux de viande
- autre

Bien sûr, il peut y avoir plusieurs objets de chaque sorte dans le sac.

Division des tâches

On veut diviser le travail en trois équipes :

1. l'équipe qui va s'occuper de la gestion du sac
2. l'équipe qui va tester que la gestion du sac fonctionne bien
3. l'équipe qui va s'occuper de l'interaction avec l'utilisateur

Remarque

Les programmeurs des équipes 2 et 3 n'ont **pas besoin de connaître** les détails de **la logique interne** du sac.

Plan

université PARIS-SACLAY | FACULTÉ DES SCIENCES D'ORSAY Programmation modulaire 15 de 61

Programmation modulaire

Pour pouvoir travailler indépendamment, les trois équipes doivent se mettre d'accord sur **le mode d'emploi du composant sac**.

Définition (Notion d'interface et de spécification)

*La **spécification fonctionnelle** est la description des fonctions d'un logiciel en vue de son implémentation.*

*décrit souvent une interface de programmation applicative (anglais API pour Application Programming Interface). C'est l'ensemble des fonctions qui servent de façade par laquelle un **logiciel offre des services à d'autres logiciels**.*

Exemple : interface pour le Sac

sac-interface.hpp

```
1
2     //* Constructeur par défaut
3     Sac ();
4
5     //* Ajoute un objet à un sac
6     //* @param[in] n : l'objet à ajouter
7     void ajoute(Objet n);
8
9     //* Retire un objet à un sac
10    //* @param[in] n : l'objet à retirer
11    //* si n n'est pas dans le sac, ne fait rien
12    //* @return si on a bien pris l'objet dans le sac
13    bool retire(Objet n);
14
15    //* Teste si le sac est vide
16    //* @return : un booléen selon le résultat du test
17    bool estVide() const;
18
19    //* Retourne un objet du sac
20    //* @return : un objet du sac s'il n'est pas vide
21    //*           le comportement est indéfini si e est vide
22    Objet objet() const;
```


Remarque

L'interface

sac-interface.hpp

```
Sac ();
void ajoute(Objet n);
bool retire(Objet n);
bool estVide() const;
Objet objet() const;
```

suppose définis deux types

- un type Objet qui **modélise les objets** à mettre dans le sac
- un type Sac qui **modélise le sac**

Abstraction de type

Dans l'interface vue précédement, on n'a pas décrit les types, il sont **abstraits**.

Définition

*En génie logiciel, un type abstrait est une **spécification d'un ensemble de données et de l'ensemble des opérations** qu'elles peuvent effectuer.*

*On qualifie d'**abstrait** ce type de données car il correspond à un cahier des charges qu'une structure de données doit ensuite implémenter, mais l'on ne spécifie pas la structure de données.*

Notion de types abstraits (2)

Les types abstraits sont des représentations des données (au sens large) **indépendantes de la réalisation et a fortiori du codage.**

Pour l'implémentation, à chaque type abstrait donné, **on associera un type concret** (choisi parmi les différentes variantes possibles), **qui sera ensuite codé en un type du langage C++.**

La relation (type abstrait/concret) devra être analysée finement afin de choisir au mieux le type concret en fonction du type abstrait considéré, selon des critères liés à :

- la simplicité d'utilisation,
- le temps de calcul,
- l'espace mémoire requis.

Définition des types abstraits

Retenir

Un type abstrait est défini par :

- *un **nom***
- *un ensemble de **constructeurs** (constantes ou fonctions) qui permettent de **produire des données de ce type** à partir d'autres données*
- *des **opérateurs qui permettent de manipuler les données** de ce type abstrait.*

Liste des opérations

Retenir

Les opérations des types abstraits (autres que les constructeurs) peuvent être regroupées en 3 catégories :

- *opérations d'accès : **permettent d'accéder aux composants internes des données du type abstrait***
- *opérations de test : **permettent de tester les caractéristiques des données***
- *autres opérations : on considère ici, généralement, différentes **opérations de base** (souvent utilisées) qu'on souhaite rendre plus **efficaces** en les optimisant pour le type concret choisi.*

Dans notre exemple

- Constructeur

sac-interface.hpp
```
Sac ();
```

- Opérations de test

sac-interface.hpp
```
bool estVide() const;
```

- Opérations d'accès

sac-interface.hpp
```
void ajoute(Objet n);
bool retire(Objet n);
Objet objet() const;
```

- Autres opérations

sac-interface.hpp
```
int nbObjet() const;
int nbObjet(Objet n) const;
```


Boîte noire / boîte blanche

Retenir

*Un composant est vu comme une **boîte noire** lorsqu'on ne s'intéresse qu'à son usage et son comportement, définis par exemple par des spécifications : c'est le point de vue de l'utilisateur.*

Retenir

*Un composant est vu comme une **boîte blanche** lorsqu'on s'intéresse à son organisation et à son fonctionnement : c'est le point de vue du concepteur, du réparateur.*

Plan

Principe d'encapsulation

Retenir

*Pour **les utilisateurs** du type abstrait, **toutes les manipulations** des données du type abstrait **doivent se faire au travers de l'interface** du type abstrait.*

- permet aux **concepteurs** de modifier les structures de données internes sans modifier l'interface du type abstrait et donc sans affecter **les utilisateurs**.
- fréquent lorsque l'on veut améliorer l'efficacité
- permet d'assurer l'intégrité (invariants) de la structure de données
- évite l'effet plat de spaghettis, où l'on ne sait plus par qui, par quoi et comment les données sont modifiées

Encapsulation en C++

Remarque

Dans beaucoup de **langages objets, le principe d'encapsulation est pris en compte dans le langage lui-même**. Le C++ permet de contrôler le respect de l'encapsulation à l'aide des mots clés

`struct` `class`
`public` `private` `protected`

Le mots clé `protected` n'est utile que si l'on fait de la programmation objet avancée (héritage). Nous ne l'utiliserons pas.

Plan

Droits d'accès en C++

Retenir

Le C++ distingue deux accessibilités :

- `public` *: accessible à tout le monde ;*
- `private` *: accessible uniquement à l'intérieur des méthodes de la classe.*

Ces restrictions peuvent être appliquées à tous les membres d'une classes : attributs, opérateurs, constantes, méthodes. . .

Droits d'accès en C++ (2)

Retenir

Les mots `class` *et* `struct` *diffèrent seulement par l'accessibilité par défaut :*

- `struct` *accessibilité* `public`
- `class` *accessibilité* `private`

Donc par exemple, les deux écritures suivantes sont équivalentes :

```
1   struct Toto {
2     private:
3       int val;
4     public:
5       int get_val() const;
6       void set_val();
7   };
```

```
1   class Toto {
2       int val;
3     public:
4       int get_val() const;
5       void set_val();
6   };
```

Droits d'accès en C++ (3)

L'usage le plus courant est le suivant :

- On utilise le mot `struct` si tout est public (le plus souvent sans constructeurs) ;
- Sinon on utilise `class` et l'on précise les accès.

Droits d'accès en C++ : exemples

Pour le sac, on va donc déclarer les méthodes de l'interface avec l'accès `public` et les attributs seront d'accès `private`.

Note : il faut quand même déclarer les attributs dans le fichier `.hpp`

sac-inttab.hpp

```
 8  class Sac {
 9
10   public:
11
12    //* Constructeur par défaut
13    Sac ();
14
15    //* Ajoute un objet à un sac
16    //* @param[in] n : l'objet à ajouter
17    void ajoute(Objet n);
18
19    //* Retire un objet à un sac
```

sac-inttab.hpp

```
38    //* Le nombre d'occurence d'un objet dans le
39    //* @param[in] : n un objet
40    //* @return le nombre de fois où l'objet n es
41    int nbObjet(Objet n) const;
42
43   private:
44
45    std::array<int, MaxSac> tab_;
46  };
```


Getter et Setter (1)

Retenir

Dans une classe où les attributs sont privés, on peut avoir besoin de

- *lire un attribut. Pour ceci, on crée une méthode appelée «getter» :*

```
typeAttr get_nomAttr() const { return attr; }
```

- *modifier un attribut. Pour ceci, on crée une méthode appelée «setter» :*

```
void set_nomAttr(typeAttr val) {
  verifications éventuelles...
  attr = val;
}
```


Getter et Setter (2)

Attention ! Il faut bien réfléchir avant de mettre des getter et des setter. Il ne sont que rarement nécessaire.

Attention

En particulier, il ne faut pas rajouter un getter pour permettre à l'utilisateur d'implémenter lui même une fonctionnalité qu'il faudrait avoir mise dans l'interface.

Exemple : affichage.

Plan

université PARIS-SACLAY | FACULTÉ DES SCIENCES D'ORSAY Exemples 32 de 61

Plan

université PARIS-SACLAY | FACULTÉ DES SCIENCES D'ORSAY Exemples 32 de 61

Utilisations du type abstrait Sac

marche.cpp

```
1   Sac s{};
2   int action;
3     switch (action) {
4     case 1:
5       if (s.estVide()) cout << "Le sac est vide";
6       else cout << "Le sac n'est pas vide";
7       break;
8     case 2: cout << "Quoi ?";
9       cin >> c;
10      s.ajoute(c);
11      break;
12    case 3: cout << "Quoi ?";
13      cin >> c;
14      if (not s.retire(c))
15        cout << "Il n'y a pas de " << c << " dans le sac";
16      break;
17    case 4:
18      if (s.estVide()) cout << "Le sac est vide";
19      else
20        cout << "Dans le sac, il y a : " << s.objet();
21      break;
22    case 5:
23    cout << endl << endl;
```

université PARIS-SACLAY | FACULTÉ DES SCIENCES D'ORSAY Exemples 33 de 61

test-sac.cpp

```
TEST_CASE("Constructeur Sac") {
  Sac s{};
  CHECK(s.estVide());
}

TEST_CASE("Méthode ajoute") {
  Sac s{};
  CHECK(s.estVide());
  s.ajoute(Course::pomme);
  CHECK_FALSE(s.estVide());
}
```

test-sac.cpp

```
TEST_CASE("Méthode objet") {
  Sac s{};
  Objet o;
  s.ajoute(Course::pomme);
  CHECK(s.objet() == Course::pomme);
  s.ajoute(Course::orange);
  o = s.objet();
  CHECK((o == Course::pomme or o == Co
  s.retire(Course::pomme);
  o = s.objet();
  CHECK(o == Course::orange);
}
```

test-sac.cpp

```
TEST_CASE("Méthode retire") {
  Sac s{};
  s.ajoute(Course::pomme);
  CHECK_FALSE(s.estVide());
  CHECK_FALSE(s.retire(Course::viande));
  CHECK(s.retire(Course::pomme));
  CHECK(s.estVide());
  CHECK_FALSE(s.retire(Course::pomme));

  s.ajoute(Course::pomme);
  s.ajoute(Course::pomme);
  CHECK(s.retire(Course::pomme));
  CHECK(s.retire(Course::pomme));
  CHECK(s.estVide());
  CHECK_FALSE(s.retire(Course::pomme));

  s.ajoute(Course::pomme);
  s.ajoute(Course::orange);
  s.ajoute(Course::pomme);
  s.ajoute(Course::orange);
  s.ajoute(Course::salade);
  CHECK_FALSE(s.estVide());
// p2 o2 s1
  CHECK_FALSE(s.retire(Course::poire));
  CHECK(s.retire(Course::orange));
// p2 o1 s1
  CHECK_FALSE(s.estVide());
  CHECK(s.retire(Course::salade));
// p2 o1 s0
  CHECK_FALSE(s.estVide());
  CHECK_FALSE(s.retire(Course::poire));
  CHECK_FALSE(s.retire(Course::salade));
  CHECK(s.retire(Course::pomme));
// p1 o1
  CHECK(s.retire(Course::pomme));
// p0 o1
  CHECK_FALSE(s.retire(Course::poire));
  CHECK_FALSE(s.retire(Course::pomme));
  CHECK_FALSE(s.retire(Course::salade));
  CHECK(s.retire(Course::orange));
  CHECK(s.estVide());
  CHECK_FALSE(s.retire(Course::pomme));
  CHECK_FALSE(s.retire(Course::salade));
  CHECK_FALSE(s.retire(Course::orange));
  CHECK_FALSE(s.retire(Course::poire));
}
```


Plan

Implémentation 1 du type abstrait Sac

Pour réaliser un type abstrait, il faut choisir un type concret.

Exemple

Première implantation : si le nombre de valeurs du type `Objet` n'est pas trop grand, on peut faire un **tableau qui à chaque objet associe le nombre de fois qu'il est dans le sac**.

sac-inttab.hpp

```
using Objet = Course;
const int MaxSac = NbCourse;

class Sac {
 private:

  std::array<int, MaxSac> tab_;
};
```


Implémentation 1 du type abstrait Sac (1)

sac-inttab.cpp

```
14 Sac::Sac() {
15   for (int i=0; i < MaxSac; i++) tab_[i] = 0;
16 }

19 bool Sac::estVide() const {
20   for (int i=0; i < MaxSac; i++)
21     if (tab_[i] != 0) return false;
22   return true;
23 }
```

Implémentation 1 du type abstrait Sac (2)

sac-inttab.cpp

```
26 void Sac::ajoute(Objet n) {
27   tab_[int(n)]++;
28 }

31 bool Sac::retire(Objet n) {
32   if (tab_[int(n)] == 0) return false;
33   tab_[int(n)]--;
34   return true;
35 }

38 Objet Sac::objet() const {
39   for (int i=0; i < MaxSac; i++)
40     if (tab_[i] != 0) return Objet(i);
41   throw std::runtime_error("Objet sur sac vide");
42 }
```


Implémentation 2 du type abstrait Sac

Exemple

Deuxième implantation : on stocke la **liste des objets du Sac en utilisant un vecteur**.

sac-vect.hpp

```
const int MaxSac = NbCourse;

class Sac {

  std::vector<Objet> tab_;
};
```


Implémentation 2 du type abstrait Sac (1)

sac-vect.cpp

```
 7 Sac::Sac() : tab_{} {}

10 bool Sac::estVide() const {
11   return tab_.size() == 0;
12 }

33 Objet Sac::objet() const {
34   return tab_[0];
35 }
```


Implémentation 2 du type abstrait Sac (2)

sac-vect.cpp

```
15 void Sac::ajoute(Objet n) {
16   tab_.push_back(n);
17 }

20 bool Sac::retire(Objet n) {
21   // Cherche un n dans le sac
22   for (int i = 0; i < tab_.size(); i++)
23     if (tab_[i] == n) {
24       // échange avec le dernier et supprime ce dernier
25       std::swap(tab_[i], tab_.back());
26       tab_.pop_back();
27       return true;
28     }
29   return false;
30 }
```

Autres implémentations possibles

- par un `vector<pair<Objet, int>>` où l'on stocke l'objet et sa multiplicité
- par un `vector<pair<Objet, int>>` trié. On peut alors retrouver un objet plus rapidement par recherche dichotomique
- par une table de hachage : `unordered_multiset<Objet>`

sac-uset.hpp

```
#include <unordered_set>
};
```

- par un arbre binaire de recherche : `multiset<Objet>`

sac-set.hpp

```
#include <set>
};
```


Autres implémentations possibles

Compléments

Le C++, fournit deux implémentations du type abstrait multiset `unordered_multiset<Objet>`, et `multiset<Objet>`

Compléments

En Java, il y a trois implémentations du type abstrait Bag `DefaultMapBag`, `HashBag`, `TreeBag`.

Plan

Évolution du type abstrait (1)

Si l'on essaye de réaliser les fonctions

```
int Sac::nbObjet(const Sac& s);

int Sac::nbObjet(const Sac& s, Objet);
```

en respectant l'encapsulation, on obtient un code qui peut être très inefficace.

En effet, on va devoir faire une boucle avec `Sac::objet` et `Sac::retire`, alors que, par exemple la taille est connue pour l'implémentation 2.

Évolution du type abstrait (2)

Compléments

Dans le cycle de vie d'un développement, il y a une phase dite de **refactorisation**, où l'on est amené à réorganiser le découpage en composants d'un code.

Cette phase permet, entre autres, de résoudre les problèmes de

- code confus car un composant n'est pas à sa place naturelle
- code inefficace car un composant n'a pas accès directement à la donnée
- code dupliqué car on n'a pas défini un composant suffisamment général pour toutes les utilisations

Implémentation 1 du type abstrait Sac (3)

sac-inttab.cpp

```
45 int Sac::nbObjet() const {
46   int res = 0;
47   for (int i=0; i < MaxSac; i++)
48     res += tab_[i];
49   return res;
50 };
51
52 int Sac::nbObjet(Objet n) const {
53   return tab_[int(n)];
54 };
```


Implémentation 2 du type abstrait Sac (3)

sac-vect.cpp

```
38 int Sac::nbObjet() const {
39   return tab_.size();
40 }
41
42 int Sac::nbObjet(Objet n) const {
43   int res = 0;
44   for (int i = 0; i < tab_.size(); i++)
45     if (tab_[i] == n) res++;
46   return res;
47 }
```


Plan

Structure ou Classe ? (1)

Pour modéliser un objet du monde réel :

Retenir

On utilise une `struct` *avec tous les attributs publics quand*

- *on veut juste regrouper des variables liées entre elles*
- *il n'y a pas de contraintes de cohérence et d'intégrité (pas d'invariants)*

Exemple : les coordonnées d'un point, les informations sur une personne dans un carnet d'adresse.

Structure ou Classe ? (2)

Pour modéliser un objet du monde réel :

Retenir

Sinon, on utilise une `class` *avec tous les attributs privés :*

- ***getter*** *pour rendre accessibles certains attributs*
- ***setter*** *pour rendre modifiables certains attributs*
- ***vérification de la cohérence*** *à la création et après une modification (si besoin).*
- *tous les objets sont dans un état cohérent (sauf pendant les modifications à l'intérieur des méthodes de l'objet).*

Bonne pratiques (2)

Retenir

Il faut suivres des ***conventions de noms cohérentes***

- *Type et Classes commencent par une majuscule (ex.* `EnsCoord`*).*
- *fonctions et méthodes en* `camelCase`
- *fonction qui* ***modifie*** *l'objet : verbe conjugué qui décrit l'action que l'on fait sur l'objet. ex.* `Ensemble::ajoute(x)`
- *fonction qui* ***retourne un résultat*** *: nom qui décrit le résultat du calcul. ex.* `Ensemble::union(a, b)`

Résumé

Retenir (Méthodogie du développement par type abstrait)

La démarche est la suivante

1. *Choix du nom*
2. *Écriture de l'interface :*
   - *Spécification des constructeurs*
   - *Spécification des méthodes (comportement, type de retour, paramètres, propriété* `const`*...)*
   - *Spécification des fonctions et opérateurs*
3. *Écriture des tests*
4. *Choix d'un type concret (tous les attributs sont privés)*
5. *Implém. des méthodes internes (accès aux attributs privés)*
6. *Implém. des méthodes, fonctions et opérateurs externes (pas d'accès au attributs privés)*

Problème des opérateurs externes

Problème

Si on définit une fonction ou un opérateur (ex. l'affichage) qui n'est pas une méthode de la classe, on n'a pas accès aux attributs.

Retenir

Plusieurs solutions :

1. *Les attributs sont accessibles par getter ex. Rationnel.num() ;*
2. *Recommandée : Ajouter une méthode publique dans la classe qui fait le travail ; l'opérateur est juste un raccourci (sucre) syntaxique et délègue le travail à la méthode.*
3. *Donner l'accès à la fonction par le mot clef* `friend`.

Affichage : méthode du sucre syntaxique

Déclaration :

sac-print.hpp

```
10 class Sac {
11  public:
46   std::ostream& print(std::ostream& out) const;
53 };
56 std::ostream& operator<<(std::ostream& out, const Sac& s);
```

Implémentation :

sac-print.cpp

```
50 std::ostream& Sac::print(std::ostream& out) const {
51   out << "{";
52   for (int i = 0; i < int(tab_.size()); i++)
53     out << tab_[i] << ",";
54   return out << "}";
55 }
56 std::ostream& operator<<(std::ostream& out, const Sac& s) {
57   return s.print(out);
58 }
```


Le mot clé `friend`

Compléments

On peut donner accès aux membres privés (attributs, méthodes, ...) d'une classe en déclarant `friend`, le code (classe, fonction, opérateur, ...) auquel on veut donner accès. Il a alors les mêmes droits que les membres de la classe.

Attention

On contourne l'encapsulation ! Beaucoup de spécialistes considèrent que c'est de la mauvaise programmation, mais c'est très courant dans les codes, en particulier pour les affichages.

Affichage : méthode de la déclaration `friend`

Déclaration :

sac-friend.hpp

```
10 class Sac {
11  public:
46   friend std::ostream &operator<<(std::ostream &out, const Sac& s);
53 };
56 std::ostream &operator<<(std::ostream &out, const Sac& s);
```

Implémentation :

sac-friend.cpp

```
50 std::ostream &operator<<(std::ostream &out, const Sac& s) {
51  out << "{";
52   for (int i = 0; i < int(s.tab_.size()); i++)
53     out << s.tab_[i] << ",";
54   return out << "}";
55 }
```

Exemple de type abstrait courant : la liste

Voir `https://fr.wikipedia.org/wiki/Type_abstrait`

Compléments

Liste (angl. `List`)

- `Insérer` : ajoute un élément dans la liste (angl. `insert`, `add`)
- `Retirer` : retire un élément de la liste (angl. `remove`, `delete`)
- `La liste est-elle vide ?` : (angl. `isNil`, `isEmpty`)
- `Nombre d'éléments dans la liste` : (angl. `length`, `size`)

Applications : suite finie, type concret pour d'autres types abstraits.

Exemple de type abstrait courant : la Pile

Compléments

Pile (angl. `Stack`), Last-In-First-Out (dernier entré premier sorti).
`Push`, `Pop` Liste (angl. `List`)

- `Empiler` : ajoute un élément sur la pile (angl. `push`)
- `Dépiler` : enlève un élément de la pile et le renvoie (angl. `pop`)
- `La pile est-elle vide ?` : (angl. `isEmpty`)
- `Nombre d'éléments dans la pile` : (angl. `lenght`, `size`)

Applications :

- algorithme récursif
- évaluation des expressions mathématiques
- fonction «annuler» d'un éditeur

Exemple de type abstrait courant : la File d'attente

Compléments

File d'attente (angl. `Queue`), First-In-First-Out (premier entré premier sorti)

- `Enfiler` : ajoute un élément sur la file (angl. `enqueue`)
- `Défiler` : enlève un élément de la file et le renvoie (angl. `dequeue`)
- `La file est-elle vide ?` : (angl. `isEmpty`)
- `Nombre d'éléments dans la file` : (angl. `lenght`, `size`)

Applications :

- mémoire tampon, communication asynchrone
- serveur d'impression (angl. *spool*)

Exemple de type abstrait courant : l'ensemble

Compléments

Ensemble (angl. `Set`)

- `ajoute` : ajoute un élément de l'ensemble (angl. `add`)
- `supprime` : enlève un élément de l'ensemble (angl. `remove`, `delete`)
- `L'ensemble est-il vide ?` : (angl. `isEmpty`)
- `Nombre d'éléments dans l'ensemble` : (angl. `size`)

Applications :

- concept mathématique d'ensemble fini

Exemples de types abstraits courants

- Sac / Multi-ensemble (angl. `Bag`, `MultiSet`)
- Table d'associations (angl. `Map`)
- Table d'associations multiples (angl. `MultiMap`)

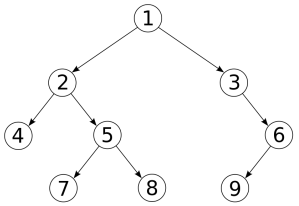
Exemple de type abstrait courant : l'arbre

Compléments

Arbres (angl. `Trees`)

Applications :

- Compression de données (Huffman)
- Recherche (arbres binaires de recherche)
- Répertoire sur un disque
- Arbres de décisions



Exemple de type abstrait courant : le graphe

Compléments

Graphes (angl. `Graph`)

Applications :

- Algorithme de routage
- Recherche de chemin
- Réseaux, Flots