# Eiffel, SmartEiffel, conception par objets, programmation par objets, programmation par contrats, interface, généricité, liaison dynamique, simulation, et cætera.

Dominique Colnet – colnet@loria.fr

4 février 2005

**Avertissement** Ce document *en cours de rédaction* n'a pas la prétention d'être un ouvrage complet et exhaustif sur la conception et la programmation par objets avec le langage Eiffel. Ce n'est pas un manuel de référence du langage Eiffel ni la documentation du compilateur et des outils de SmartEiffel[1]. Il s'agit plutôt d'un ensemble de notes de cours, d'une suite plus ou moins pédagogique de transparents ainsi qu'une collection hétérogène d'exercices.

Comme c'est souvent le cas pour les polycopiés d'enseignement, le document actuel est constamment *en cours de rédaction.* La première version de ce document doit dater des années 1990[2], date à laquelle nous avons décidé d'utiliser Eiffel pour la licence d'informatique de l'Université Henri Poincaré (Nancy 1) ainsi qu'à l'ESIAL (École Supérieure d'Informatique et Applications de Lorraine). Toutes les suggestions seront les bienvenues (même les corrections orthographiques).



## Table des matières



[1]SmartEiffel The GNU Eiffel Compiler tools and libraries —- `http://SmartEiffel.loria.fr`.

[2]Attention, n'en déduisez pas que le langage Eiffel n'a pas changé depuis 1990 ! En fait, le langage en est à sa troisième version et nous participons actuellement à la normalisation de cette nouvelle définition.

# 1 Les premiers pas

On suppose dans la suite que SmartEiffel est déjà correctement installé sur votre ordinateur. Une bonne façon de vérifier que l'installation est correcte consiste à taper dans une fenêtre de commande (fenêtre `command` DOS sous Windows ou dans une fenêtre `shell` sous Linux/Unix) la ligne suivante :

```
compile -o hi hello_world
```

En l'absence de message d'erreur, si vous tapez ensuite la commande :

```
hi
```

Le message `Hello World.` doit s'afficher sur l'écran. En cas de problème d'installation ou pour obtenir SmartEiffel, suivre le lien :

`http://SmartEiffel.loria.fr`

Ces pages permettent d'obtenir SmartEiffel, sa documentation en ligne, l'accès à la liste de diffusion électronique (*mailing list* `SmartEiffel@loria.fr`), le fichier FAQ[3] de SmartEiffel ainsi que beaucoup d'autres choses, comme par exemple l'interface de toutes les classes au format des navigateurs WEB (`http://SmartEiffel.loria.fr/libraries/classes.html`).

## 1.1 Le premier programme

Le premier programme présenté sur la vue 1 permet d'afficher le texte `"Hello World."` sur l'écran. En fait, ce programme très simple fait partie des programmes de démonstration fournis avec SmartEiffel et il est donc inutile de saisir ce programme dans un fichier, c'est déjà fait. Pour trouver le fichier de ce programme (i.e. le chemin d'accès complet sur le disque), utilisez comme suit la commande `finder` de SmartEiffel dans une fenêtre de commandes :

```
finder hello_world
```

De manière générale, la commande `finder` permet de trouver le chemin d'accès au fichier contenant la définition de n'importe quelle classe. Toutes les notations suivantes sont acceptées indifféremment :

```
finder INTEGER
finder integer
finder integer.e
```

Dans un programme Eiffel (la vue numéro 1 montre le programme correspondant à la classe HELLO_WORLD), les commentaires commencent par "`--`" et se terminent en fin de ligne. Les noms de classes sont en majuscules, par exemple HELLO_WORLD est un nom de classe. Il n'y a pas de syntaxe particulière pour le programme principal et pour faire une impression sur l'écran il faut déjà utiliser un des principes de la programmation par objets : application de l'opération `put_string` sur un objet référencé (pointé) par la variable `io`.

La typographie utilisée dans ce polycopié essaye de respecter les conventions suivantes : les mots réservés du langage Eiffel en **gras**, les commentaires en *italique* et les identificateurs sont écrits avec la police `ordinaire`.

[3]Foire Aux Questions - Frequently Asked Questions

Vue 1

```
class HELLO_WORLD
   -- My very first program in Eiffel.
creation make
feature
   make is
      do
         io.put_string("Hello World.%N")
      end
end
```

Dans le texte de la chaîne de caractères `"Hello World.%N"`, la séquence `%N` indique un passage à la ligne suivante. Pour les grands débutants, un bon exercice pour se familiariser avec Eiffel consiste à recopier le fichier `hello_world.e` chez soi, dans un répertoire de travail, puis, à modifier ce fichier pour essayer des variantes de ce programme. Attention : pour que votre propre copie de ce fichier soit prise en compte il faut lancer la commande de compilation dans votre répertoire de travail (le répertoire où se trouve votre fichier `hello_world.e`). N'hésitez pas à introduire volontairement des erreurs dans votre fichier pour vous familiariser avec les messages d'erreurs du compilateur. Pour savoir quels sont les fichiers Eiffel (`*.e`) qui sont chargés par le compilateur, vous pouvez ajouter l'option `-verbose` lors du lancement de la compilation :

```
$ compile -verbose hello_world
SmartEiffel The GNU Eiffel Compiler
Release 1.1 (Charlemagne) (June 2003)
...
1       ....../SmartEiffel/tutorial/hello_world.e
2       ....../SmartEiffel/lib/kernel/any.e
3       ....../SmartEiffel/lib/kernel/platform.e
4       ....../SmartEiffel/lib/kernel/general.e
5       ....../SmartEiffel/lib/io/std_input_output.e
6       ....../SmartEiffel/lib/io/std_output.e
7       ....../SmartEiffel/lib/io/output_stream.e
8       ....../SmartEiffel/lib/io/std_input.e
9       ....../SmartEiffel/lib/io/input_stream.e
11      ....../SmartEiffel/lib/kernel/integer.e
12      ....../SmartEiffel/lib/kernel/integer_ref.e
13      ....../SmartEiffel/lib/kernel/comparable.e
14      ....../SmartEiffel/lib/kernel/numeric.e
15      ....../SmartEiffel/lib/kernel/hashable.e
```

```
16      ....../SmartEiffel/lib/kernel/string.e
17      ....../SmartEiffel/lib/kernel/boolean.e
18      ....../SmartEiffel/lib/kernel/boolean_ref.e
19      ....../SmartEiffel/lib/kernel/character.e
20      ....../SmartEiffel/lib/kernel/character_ref.e
21      ....../SmartEiffel/lib/kernel/native_array.e
22      ....../SmartEiffel/lib/basic/safe_equal.e
23      ....../SmartEiffel/lib/kernel/pointer.e
24      ....../SmartEiffel/lib/kernel/pointer_ref.e
...
```

Les différentes options que l'on peut passer au compilateur (commande `compile`) sont décrites en détail sur la page `http://SmartEiffel.loria.fr/man/compile_to_c.html`. Toutes les commandes (`compile`, `compile_to_c`, `finder`, `short`, `class_check`, `pretty`, `compile_to_jvm`, etc.) affichent également un petit résumé des options disponibles si on les lance avec l'option `-help`. Voici par exemple le résumé des options que l'on peut obtenir *en ligne* pour la commande `compile` :

```
$ compile -help
Usage: compile [options] <RootClass> <RootProcedure> ...
   or: compile [options] <ACEfileName>.ace
For information about and examples of ACE files, have a look
in the SmartEiffel/tutorial/ace directory.

Most of the following options are not available when using
an ACE file.

Option summary:

Information:
  -help               Display this help information
  -version            Display SmartEiffel version information
  -verbose            Display detailed information about what the
                       compiler is doing

Warning levels:
  -case_insensitive   Make class and feature names case-insensitive
  -no_style_warning   Don't print warnings about style violations
  -no_warning         Don't print any warnings (implies -no_style_warning)

Optimization and debugging levels (specify at most one; default is -all_check):
  -boost              Enable all optimizations,
                       but disable all run-time checks
  -no_check           Enable Void target and system-level checking
  -require_check      Enable precondition checking (implies -no_check)
  -ensure_check       Enable postcondition checking (implies -require_check)
  -invariant_check    Enable class invariant checking (implies -ensure_check)
  -loop_check         Enable loop variant and invariant checking
                       (implies -invariant_check)
  -all_check          Enable "check" blocks (implies -loop_check)
  -debug_check        Enable "debug" blocks (implies -all_check)

C compilation and run-time system:
  -cc <command>       Specify the C compiler to use
  -cecil <file>       Take CECIL information from <file>
                       (may be used more than once)
  -o <file>           Put the executable program into <file>
  -no_main            Don't include a main() in the generated executable
```

```
-no_gc              Disable garbage collection
-gc_info            Enable status messages from the garbage collector
-no_strip           Don't run "strip" on the generated executable
-no_split           Generate only one C file
-sedb               Enable the internal debugger
-wedit              Include support for the Wedit debugger
-clean              Run the "clean" command at the end
```

```
% compile -o hi hello_world
% hi
Hello World !
```

`http://SmartEiffel.loria.fr`

Vue 2

compile -o hi hello_world -verbose
compile -o hi hello_world -verbose -boost
compile -o hi hello_world -verbose -boost -O3
finder hello_world
short integer
class_check *.e
pretty hello_world
compile_to_jvm hello_world
java hello_world
...

Les fichiers qui contiennent les classes (les programmes) doivent être suffixés par "`.e`". Pour que le compilateur puisse facilement trouver les classes que vous utilisez, il faut également que l'on retrouve le nom de la classe dans le nom du fichier. Par exemple, le fichier contenant la classe "TOTO" doit obligatoirement s'appeler "`toto.e`". Sur les vues, ce qui est en **gras** est tapé par l'utilisateur. Pour compiler il faut impérativement donner en argument dans l'ordre, la classe racine (**toto**) ainsi que le nom de la procédure qui fait office de programme principal (la procédure **debut** sur l'exemple 3). Le langage C sert de langage cible et une compilation Eiffel (correcte) se termine par l'appel du compilateur C (`gcc` sous UNIX, cf vue 4). Il est également possible de produire du *byte-code* Java (cf. commande `compile_to_jvm`).

Vue 3

```
class TOTO -- Un autre example simple pour commencer.
creation debut
feature
   debut is
      local
         reponse: STRING
      do
         io.put_string("Oui ou non ? ")
         io.read_line -- Lecture d'une ligne sur le clavier.
         reponse := io.last_string
         inspect
            reponse
         when "oui", "o" then
            io.put_string("Oh oui !%N")
         when "non", "n" then
            io.put_string("Ben non.%N")
         else
            io.put_string("J'ai des doutes.%N")
         end -- inspect
      end -- debut
end -- TOTO
```

Vue 4

```
% compile -verbose TOTO debut
...
Type inference score : 100.00%
Done.
C compiling using "toto.make" command file.
System call "gcc -pipe -c toto10.c"
System call "gcc -pipe -c toto9.c"
System call "gcc -pipe -c toto8.c"
...
System call "gcc -pipe -c toto1.c"
System call "gcc -pipe toto1.o toto2.o ... toto10.o "
System call "strip a.out"
C code not removed.
Done.
% a.out
```

Vue 5

```
% ls -l a.out
-rwxr-xr-x 1 test01 invit 41248 Oct 18 08:53 a.out
% compile -verbose -o xx -boost -O3 TOTO debut
...
...
Type inference score : 100.00%
Done.
C compiling using "toto.make" command file.
System call "gcc -pipe -O3 -o xx toto.c"
System call "strip xx"
C code not removed.
Done.
% ls -l a.out
-rwxr-xr-x 1 test01 invit 16384 Oct 18 08:54 a.out
```

La commande de compilation `compile` admet des options comme par exemple l'option `-boost` qui provoque entre autres choses la suppression du code correspondant aux assertions. Cette option est vivement déconseillée en phase de mise au point car elle supprime aussi la trace d'exécution affichée habituellement en cas d'arrêt brutal. Certaines options comme `-O2` par exemple sont transmises au compilateur C. La description complète des autres options ainsi que toutes les autres informations qui concernent SmartEiffel sont accessibles via :

`http://www.loria.fr/SmartEiffel`

SmartEiffel est également disponible avec les distributions Linux sur CD rom (bien vérifier que le numéro de la version utilisée). L'option `-version` disponible sur toutes les commandes (`compile`, `finder`, `short`, `class_check`, `pretty`, etc.) permet de s'assurer du numéro de la version qu'on utilise.

Pour apprendre rapidement et facilement les principes essentiels d'Eiffel, nous vous conseillons de parcourir les exemples commentés qui sont dans la distribution de SmartEiffel (répertoire `SmartEiffel/tutorial`). Nous vous proposons de lire et d'essayer dans l'ordre les exemples suivants :

– `SmartEiffel/tutorial/hello_world.e` : le premier programme à tester ; n'hésitez pas à travailler sur une copie de ce programme dans un répertoire temporaire vous appartenant ;
– `SmartEiffel/tutorial/triangle/version*` : une progression à l'usage des grands débutants sur le thème des points et des triangles ; les quatres versions de la classe TRIANGLE sont accompagnées d'exercices permettant de présenter l'essentiels des bases ; une progression à ne pas manquer pour bien démarrer en Eiffel ;
– `SmartEiffel/tutorial/parking/` : petite simulation non graphique d'un parking pour voitures sur plusieurs niveaux ; il est également indispensable de regarder de près cet exercice car il présente bien le découpage en classes d'une application ;

- `SmartEiffel/tutorial/print_arguments.e` : pour savoir comment accéder aux arguments de la ligne de commande ;
- `SmartEiffel/tutorial/hanoi/` : simulation non graphique de l'exercice classique des tours de Hanoï ; à regarder car c'est un grand classique de la récursivité ;
- `SmartEiffel/tutorial/ace/` : pour savoir comment appeler le compilateur en choisissant classe par classe le niveau de vérification ; indispensable pour pouvoir se servir efficacement du débogueur `sedb-sedb` efficacement ;
- `SmartEiffel/tutorial/pyramid.e` : un exemple de récursivité avec retour en arrière (voir aussi `knight.e` et `pyramid2.e`) ;
- `SmartEiffel/tutorial/vision/*` : pour une visite des classes permettant d'écrire des application graphiques ;
- `SmartEiffel/tutorial/time/` : accès à l'heure et à la date ;
- `SmartEiffel/tutorial/basic_directory/` : manipulation des répertoires (voir aussi `directory/`) ;
- `SmartEiffel/tutorial/random/` : pour générer aléatoirement des nombres ;
- `SmartEiffel/tutorial/iterator/` : utilisation du patron de conception (*design pattern*) du même nom ;
- `SmartEiffel/tutorial/number/` : pour manipuler des grands nombres et des fractions ;
- `SmartEiffel/tutorial/external/C/` : pour savoir comment appeler des fonctions écrites en langage C à partir du langage Eiffel ;
- `SmartEiffel/tutorial/cecil/*` : pour savoir comment appeler des fonctions écrites en langage Eiffel à partir du langage C ;
- `SmartEiffel/tutorial/sorting/` : pour trier des COLLECTIONs ;
- `SmartEiffel/tutorial/memory/` : pour adapter le fonctionnement du ramasse-miettes au comportement de son application (réservé aux experts) ;
- `SmartEiffel/tutorial/tuple/` : pour manipuler facilement des n-uplets de valeurs ;
- `SmartEiffel/tutorial/agent/` : pour passer en paramètre du code à exécuter ultérieurement ;
- `SmartEiffel/tutorial/memory` : pour adapter le fonctionnement du ramasse-miettes au comportement de son application (réservé aux experts) ;
- `SmartEiffel/tutorial/scoop/` : pour distribuer son application sur plusieurs processeurs (plusieurs flots d'exécution – réservé aux experts) ;
- ...
- ...

# 2 Introduction

## 2.1 Bibliographie

Pour le débutant ne lisant pas l'anglais, nous conseillons vivement la lecture du livre “Cours de programmation par objets” cité sur la vue 6. Attention, certains autres ouvrages correspondent à la version 2.3 du langage Eiffel et non pas à la version 3.0 qui est celle que nous utilisons. Même s'il est en version 2.3, le livre de B.Meyer (vue 7) reste un excellent ouvrage d'initiation à Eiffel et est plus facile à lire que le manuel de référence du langage Eiffel version 3.0 (vue 6). D'autres références bibliographiques sont données dans le FAQ Eiffel (*Frequently Asked Questions* une copie de ce document est dans la distribution : `SmartEiffel/man/Eiffel.FAQ`).

Martine Gautier, Gerald Masini, Karol proch
**Cours de programmation par objets**,
Masson, 1995

Vue 6

Bertrand Meyer
**Eiffel : The Language**, Prentice-Hall, 1991

Bertrand Meyer
**Eiffel le Langage**, InterEdition, 1994

## Bibliographie : cf. Eiffel-FAQ

## Eiffel 2.3

Vue 7

Bertrand Meyer
**Object-Oriented Software Construction**,
C.A.R. Hoare Series, Prentice-Hall International Series in Computer Science,Englewood Cliffs, New Jersey,1988

Bertrand Meyer
**Conception et programmation par objets, pour du logiciel de qualité**, InterEdition, Paris, 1990

## 2.3 → 3.0 : Eiffel-FAQ L02

## 2.2 Historique et généralités

Il faut dire *langage à objets* et ne plus utiliser la traduction littérale (et laide) *langage orienté objets* (vue 8).

Les non spécialistes du domaine ainsi que les magazines de vulgarisation (comme *Le Monde Informatique* par exemple) ne font aucune distinction entre *langage à objets* et *langage de classes*. Pour plus de détails sur ce sujet (historique des langages à objets et terminologie), consultez l'ouvrage cité sur la vue 11. Attention, ce livre ne contient que très peu de choses sur Eiffel (et en plus il s'agit de la version version 2.3 du langage Eiffel).

Vue 8

**Les langages à objets**

(Object Oriented Languages)

=

langages de classes

$\bigcup$

langages de frames

$\bigcup$

langages d'acteurs

$\bigcup$

langages hybrides

### langages de classes

*Domaine d'utilisation très général*

Vue 9 Simula (1973), Smalltalk (1972-76-80), C++ (1982-86), Objective-C (1984-86), Eiffel (1987-88), Flavors (1980), CLOS (1987), Object Pascal (1984-86), Pascal Turbo V5.5, Ada 9X (95-96), Java (95-96), ...

### langages de frames

*Réseaux sémantiques et travaux de Marvin Minsky ; utilisés en Intelligence Artificielle (IA)*

### langages d'acteurs

Vue 10

*Modèle pour la programmation parallèle*

### langages hybrides

*Mélange de caractéristiques provenant des trois familles précédentes et parfois même d'autres familles ...*

## langages à objets $\simeq$ langages de classes

Vue 11

| | |
|---|---|
| ***"Les langages à objets"*** | **InterEdition** *(Paris/89)* |
| ***"Object-Oriented Languages"*** | **Academic Press** *(London)* |
| G.Masini, A.Napoli, D.Colnet, K.Tombre, D.Léonard | |



Chapitre 2 : “Les classes” *pp. 33–65*

Section 6.3 : “Eiffel (2.3)” *pp. 223–234*

## Qu’est-ce qu’un langage de classes ?

Vue 12

- définition de **classes**
- **instanciation**
- **héritage** et **liaison dynamique**

## Eiffel c’est :

- **un langage de classes** (classe, instanciation, héritage et liaison dynamique)
- **typage statique** (variables typées)

Vue 13

- **invariant**
- **pré-conditions**
- **post-conditions**
- **généricité**
- **exceptions**
- **routines à exécution unique**
- ...

*Bertrand MEYER (inventeur d'Eiffel*

Vue 14

```
class TOTO2
creation make
feature {ANY}
  make  is
      local
        i: INTEGER
      do
         from
           i := 5
         until i = 0
         loop
           io.put_string("Bonjour Eiffel !%N")
           i := i - 1
         end
      end
end
```

Un compilateur est un programme qui n'est **jamais** terminé : il reste toujours des erreurs à corriger. Afin de nous faciliter la tâche je vous demande de suivre la procédure suivante le cas échéant :

1. Vérifiez que l'erreur est bien une erreur du compilateur et qu'il ne s'agit pas d'une erreur de votre part (relisez attentivement les messages émis par le compilateur avant de conclure).
2. Si vous travaillez ailleurs que sur les machines du réseau d'enseignement, vérifiez que le numéro de version est correct (version suffisamment récente).
3. Vérifiez que l'erreur en question n'est pas déjà répertoriée dans le couarail local rubrique Eiffel.
4. Isolez le bug, c'est-à-dire écrivez un programme reproduisant l'erreur, aussi petit que possible (le programme). Puis, postez une copie de ce programme dans l'outil de rapport d'anomalies (`SmartZilla`), disponible à partir des pages `http://SmartEiffel.loria.fr`.

# 3 Classes et instances

## 3.1 Classe (définition d'une catégorie d'objets)

Eiffel est complètement fondé sur la notion de classe et d'instance (vue 15). La classe s'apparente à un type abstrait de données et décrit un ensemble d'objets partageant la même structure et le même comportement. Elle sert de moule pour générer ses représentants physiques, les objets, également appelés instances. Une instance est toujours liée à une classe particulière, celle qui a servi de modèle lors de l'instanciation (la création de l'objet). En Eiffel, aucune nouvelle classe n'apparaît lors de l'exécution du programme. Contrairement à d'autres langages, en Eiffel, toutes les classes sont connues au moment de la compilation. La notion d'instance n'a de sens que lorsque le programme s'exécute (autrement dit, les objets ne sont créés qu'au moment de l'exécution). Programmer en Eiffel consiste à définir de nouvelles classes.

La notion de classe en Eiffel n'est pas sans rapport avec la notion plus mathématique et plus générale de type. Les attributs d'une classe (vue 16) correspondent à la partie structure d'un type implanté avec un produit cartésien. Les routines correspondent aux opérations du type. Elles manipulent les attributs et caractérisent les actions pouvant être effectuées par les objets (instances) de la classe. Dans le contexte d'un logiciel écrit en Eiffel, on peut parler indifféremment d'une classe ou d'un type (les deux mots sont synonymes).

La notion de classe prend en compte la notion de mémoire informatique et il faut décider, pour une classe donnée, ce qui sera mémorisé (attributs) et ce qui sera calculé (routines). Sur la vue 17, seules les entêtes des routines sont représentées. Ces routines utilisent les valeurs des attributs `x` et `y` de l'instance courante.

Vue 15

**CLASSE (ou TYPE)** : *description* **statique** *d'une famille d'objets ayant même structure et même comportement*

**INSTANCE (ou OBJET)** : *entité créée* **dynamiquement**, *en respectant les plans de construction donnés par sa classe*

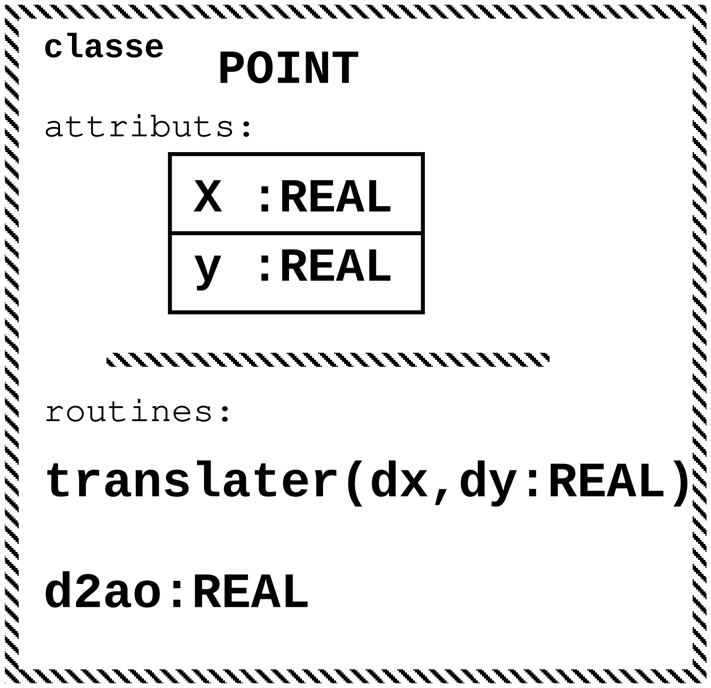
## Définir une classe

Vue 16

**Attribut(s)** *La partie données caractérisant à un instant particulier l'état d'une instance de la classe*

**Routine(s)** *Procédures ou fonctions spécialisées dans la manipulation des instances de la classe*

Vue 17




### 3.2 Instanciation (création d'objets)

L'instanciation consiste à créer une instance à partir du modèle donné par la classe. La classe sert de modèle pour construire les instances et seules les données (les attributs) sont dupliquées en mémoire.

La vue 19 montre le texte source Eiffel de la classe POINT. Les variables `x` et `y` sont les attributs de la classe POINT. Ce ne sont pas des variables globales[1] car chaque objet de la classe POINT disposera de ses propres valeurs pour les attributs `x` et `y` (pour cette raison, on dit également que `x` et `y` sont des *variables d'instances*). Ainsi, la procédure `translater` (toujours sur la vue 19) modifie l'instance courante (cette procédure modifie les variables propres à l'objet courant, les variables de l'instance courante). L'opérateur ^ utilisé dans la fonction `d2ao` est la notation Eiffel pour l'élévation à la puissance.

La procédure `essai_point` (vues 20 et 21) montre comment il est possible d'utiliser la classe POINT de la page 19. Prise globalement, la procédure `essai_point` ne fait pas grand chose d'intéressant (et là n'est pas la question). On va s'intéresser au déroulement au pas à pas des instructions de cette procédure afin de comprendre l'effet (la *sémantique*) d'instructions Eiffel élémentaires comme l'instanciation et l'affectation par exemple. Notons avant de commencer le déroulement étape par étape de cet exemple que la déclaration de variables locales à une routine est faite en utilisant le mot clé **local**. Comme son nom l'indique, une variable locale n'est accessible que localement, uniquement à l'intérieur de la routine correspondante.

Au point d'arrêt ⊙ 1 (vue 22), les variables locales de la procédure `essai_point` sont allouées dans la pile et initialisées automatiquement (oui, ce n'est pas comme en langage C

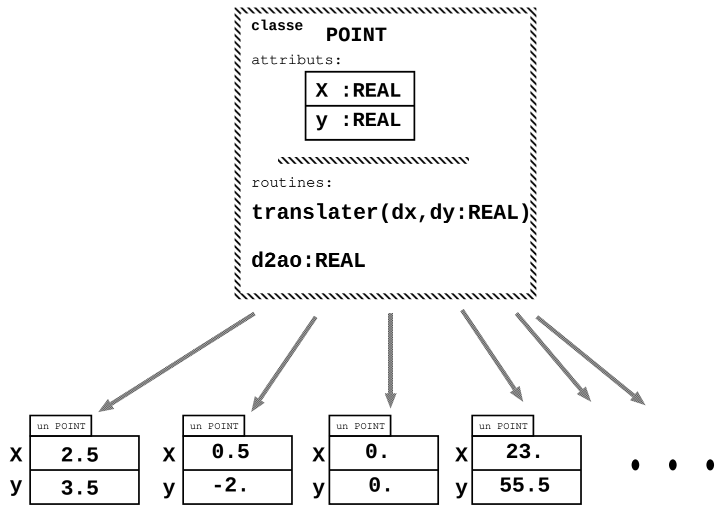
[1] Dans les anciens langages, C ou Pascal par exemple, une variable est dite *globale* si cette variable est unique et accessible globalement, c'est à dire depuis n'importe quel endroit du programme.

pour ceux qui connaissent). L'initialisation est différente pour une variable déclarée REAL et POINT. La notation `Void` en Eiffel est l'équivalent de **nil** en Pascal (ou `NULL` en C). La notation `Void` indique l'absence de valeur, c'est à dire le fait qu'une variable ne pointe sur aucun objet. La première instance de la classe POINT n'apparaît qu'en ⊙ 2 (vue 22). Ainsi, la place allouée dans la pile pour une variable de type POINT est la place suffisante pour un pointeur et non pas pour une instance de la classe POINT. Au point ⊙ 3 (vue 22), le point référencé par `p1` vient d'être modifié par l'intermédiaire de la procédure translater. Au point ⊙ 6 (vue 23), une deuxième instance de la classe POINT fait son apparition en mémoire. L'affectation simple ne provoque jamais d'instanciation[2] et, au point ⊙ 7 (vue 24), c'est une recopie de pointeur qui vient d'être effectuée et les variables `p2` et `p3` désignent (pointent) le **même** objet. Au point ⊙ 8, la variable `p1` ne pointe plus aucun objet et l'instance allouée au point ⊙ 2 est perdue pour tout le monde car inaccessible.

En fait, une instance n'est jamais perdue pour tout le monde car il existe un *ramasse-miettes*. Le travail du ramasse-miettes (*garbage collector*) consiste à récupérer la place mémoire occupée par les objets inaccessibles. La place mémoire récupérée est à nouveau disponible pour de nouvelles instanciations.

Pour une bonne compréhension d'Eiffel (et des langages à objets en général), il est indispensable de bien comprendre les explications données sous la forme de schémas mémoire (série de vues 20, 21, 22, 23 et 23). Un très bon exercice consiste à redessiner vous même sur une feuille de papier les différentes étapes de cette exécution. Si vous êtes à côté d'un ordinateur au moment de cet exercice, vous pouvez vous aider en utilisant le débogueur de SmartEiffel[3] qui permet de suivre l'exécution au pas par pas.

Vue 18




[2]Sauf si l'on considère les affectations d'un type `expanded` dans type référence compatible. Comme la manipulation des classes `expanded` est à mon avis une affaire de spécialistes, je préfère laisser ce cas particulier de côté pour l'instant.

[3]Pour exécuter un programme sous le débogueur de SmartEiffel, il suffit de le recompiler en ajoutant l'option `-sedb` puis de le lancer comme d'habitude.

Vue 19

```
class POINT
feature
-- Les attributs (variables d'instance) :
  x, y : REAL
-- Les routines (méthodes) :
  translater (dx, dy : REAL) is
      do
        x := x + dx
        y := y + dy
      end; -- translater
  d2ao : REAL is
      -- Distance au carré par rapport à l'origine !
      do
        Result := x^2 + y^2
      end; -- d2ao
end -- POINT
```

## Utilisation de la classe POINT

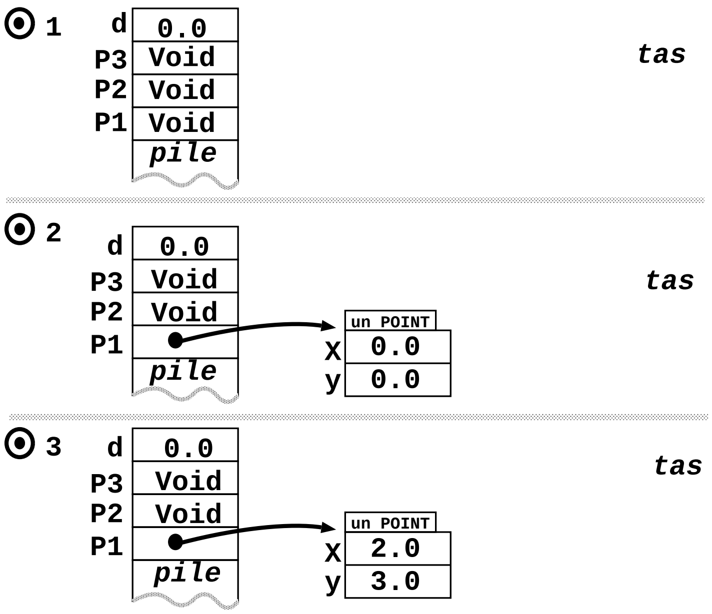
Vue 20

```
  ...
  essai_point is
      local
        p1, p2, p3: POINT
        d: REAL
      do -- ⊙ 1
        -- Instanciation d'un point désigné par p1 :
        create p1 -- ⊙ 2
        -- Translation du point désigné par p1 :
        p1.translater(2,3) -- ⊙ 3
        -- Calcul dans d du nouveau d2ao de p1 :
        d := p1.d2ao -- ⊙ 4
```

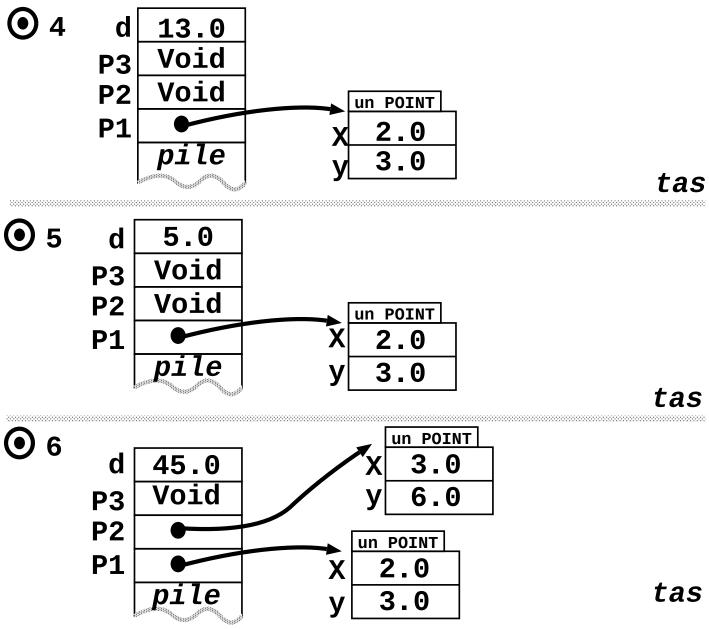
Vue 21

```
      --  Consultation d'attributs :
      d := p1.x + p1.y -- ⊙ 5
      --  Instanciation et utilisation :
      create p2
      p2.translater(p1.y,6)
      d := p2.d2ao -- ⊙ 6
      --  Signification de l'affectation :
      p3 := p2
      p3.translater(1,6) -- ⊙ 7
      --  Perdre l'accès à une instance :
      p1 := Void -- ⊙ 8
      --  Affectation d'une variable contenant Void :
      p2 := p1 -- ⊙ 9
   end -- essai_point
...
```

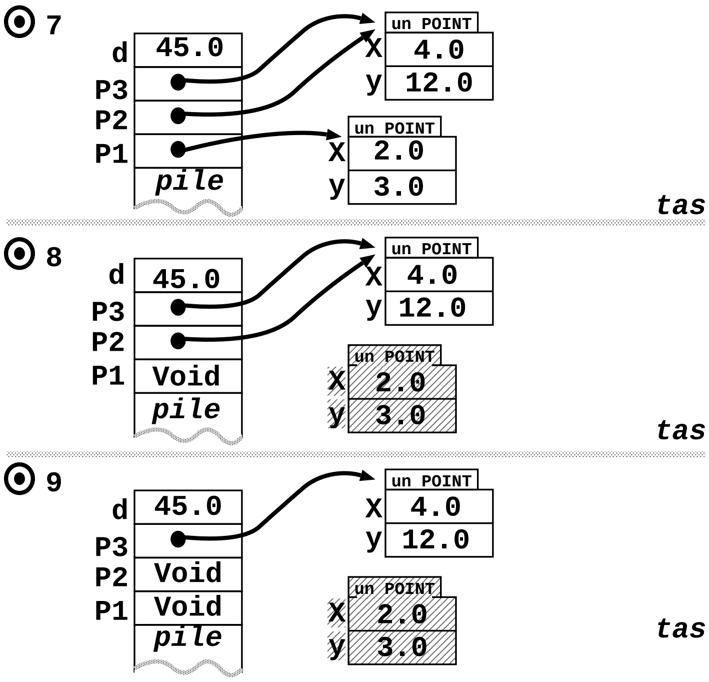
Vue 22



Vue 23


4
d
13.0
P3
Void
P2
Void
P1
pile
un POINT
x
2.0
y
3.0
tas
5
d
5.0
P3
Void
P2
Void
P1
pile
un POINT
x
2.0
y
3.0
tas
6
d
45.0
P3
Void
P2
P1
pile
un POINT
x
3.0
y
6.0
un POINT
x
2.0
y
3.0
tas

Vue 24


7
d
45.0
P3
P2
P1
pile
un POINT
x
4.0
y
12.0
un POINT
x
2.0
y
3.0
tas
8
d
45.0
P3
P2
P1
Void
pile
un POINT
x
4.0
y
12.0
un POINT
x
2.0
y
3.0
tas
9
d
45.0
P3
P2
Void
P1
Void
pile
un POINT
x
4.0
y
12.0
un POINT
x
2.0
y
3.0
tas

### 3.3 Types de base (`expanded` *vs* `reference`)

Il est important de prendre rapidement conscience de la différence qui existe entre les classes dites *expanded* et les classes dites *reference*. Quand on utilise une variable correspondant à une classe *reference*, cette variable est prévue pour contenir un pointeur vers un objet. Quand on utilise une variable correspondant à une classe *expanded*, cette variable est prévue pour contenir directement l'objet sans aucun pointeur intermédiaire. Ainsi, lorsque l'on déclare une variable de type REAL ou de type POINT, ce n'est pas du tout la même chose ! Dans un cas, la classe est définie comme étant `expanded` (classe REAL) dans l'autre, la classe n'est pas définie comme étant `expanded` (classe POINT). Dans un cas, on réserve la place pour un réel alors que dans l'autre cas, on réserve la place pour un pointeur sur un point, et *seulement ce pointeur*. Le type REAL fait partie de la catégorie des classes non référençables par l'intermédiaire d'un pointeur (comme INTEGER, CHARACTER, DOUBLE, BIT_N, POINTER, vue 25). Tous les autres types sont, par défaut, manipulés par l'intermédiaire d'un pointeur (on dit aussi référence). Ce qui peut surprendre en Eiffel, c'est qu'il n'y a aucune différence de notation entre une variable contenant un pointeur ou une variable contenant directement une valeur (ce qui n'est pas le cas en Pascal, C ou C++ par exemple).

Les types de base, bien que traités de façon spécifique par le compilateur sont de véritables classes dans lesquelles il est possible d'ajouter des opérations. En effet, en Eiffel[1], tous ces types élémentaires (INTEGER, CHARACTER, REAL, DOUBLE, etc.), sont décrits par de véritables classes (fichiers `integer.e`, `character.e`, `real.e`, `double.e`, etc.). La notation est uniforme comme par exemple dans :

```
s := (5).to_string   -- Appel de la fonction  to_string  sur l'objet 5
```

Conformément à la définition du langage Eiffel, le compilateur SmartEiffel produit du code qui garantit l'initialisation des attributs ainsi que l'initialisation des variables locales (vue 26).

**Types de base (expanded)** : INTEGER, BOOLEAN, CHARACTER, REAL, DOUBLE POINTER et BIT_N

**Types de base (non expanded)** : STRING et ARRAY.

Vue 25 **Type utilisateur (non expanded)** : POINT, TRIANGLE, LIST, ..., ..., ..., ..., ..., ..., ..., ..., ..., ..., ..., ..., ..., ..., ..., ..., ..., ..., ..., ..., ..., ..., ..., ..., ..., ..., ..., ..., ...

**Type utilisateur (expanded)** : ..., ...,

[1]En Java, les types élémentaires ne sont pas associés à de véritables définitions de classes. Il n'est pas possible d'ajouter une nouvelle opération pour le type `int` par exemple. De ce point de vue, Eiffel est plus proche d'un langage véritablement objet comme Smalltalk ou Self par exemple.

Vue 26

**Même règle d'initialisation pour les variables locales et pour les attributs.**

| | |
|---:|:---:|
| `unTableau : ARRAY[INTEGER]` | `Void` |
| `uneListe : LIST[REAL]` | `Void` |
| `un_fichier : STD_FILE_READ` | `Void` |
| `unePhrase : STRING` | `Void` |
| `unPoint : POINT` | `Void` |
| `x : REAL` | `0.0` |
| `i : INTEGER` | `0` |
| `c : CHARACTER` | `'null'` |
| `b : BOOLEAN` | `false` |

## 3.4 Organisation mémoire

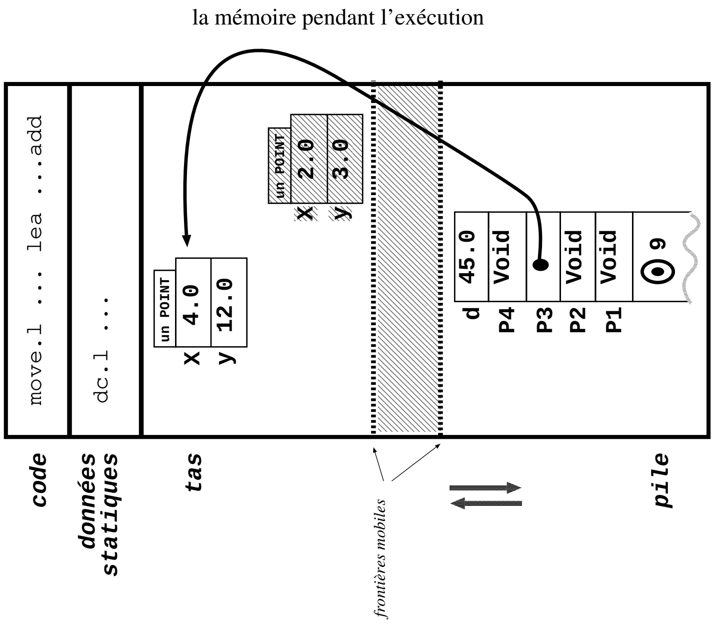
A l'exécution, de façon simpliste, on peut considérer que l'organisation en mémoire d'un programme Eiffel correspond schématiquement à l'organisation présentée sur la vue 27. La zone de mémoire associée au programme à l'exécution est divisée en quatre zones.

- La zone *code* contient le code machine des routines (procédures et fonctions) des différentes classes du programme.
- La zone *données statiques* (ou *data* en Anglais) contient tous les objets dont la place mémoire doit être réservée avant l'exécution (variables de la procédure servant de programme principal et routines **once**).
- La zone *tas* (ou *heap* en Anglais) contient toutes les instances devant être allouées durant l'exécution. Cette zone comporte des parties libres et des parties occupées au gré des instanciations et des restitutions d'instances. C'est dans cette zone que le ramasse-miettes fait son travail de récupération mémoire.
- La zone *pile* (ou *stack*) qui permet l'interprétation du programme en permettant de mémoriser les points de retour pour l'exécution des routines (la récursivité est toujours possible). C'est aussi dans cette pile que sont allouées les variables locales des routines.

Si tout se passe bien, la pile ne déborde jamais dans le tas et le tas n'est jamais plein. Notons que cette vision schématique de la mémoire est également valable pour la très grande majorité des langages informatiques : Pascal, Lisp, Smalltalk, Ada, C, C++,C#, Caml, VisualBasic, Java, etc. (tous les langages applicatifs en général). Même si cela n'est pas essentiel pour un débutant, un développeur confirmé doit garder à l'esprit cette vision de l'organisation mémoire afin de bien maîtriser son logiciel, et en particulier, pour savoir où sont stockées ses informations.

**Exercice 1** En Pascal ou en C, donnez un exemple d'allocation dans le tas, un exemple d'allocation dans la pile et un exemple d'allocation dans la zone statique.

Vue 27




### 3.5 Message et receveur

Dans le jargon de la programmation par objets, l'instruction Eiffel de la vue 28 est un *envoi de message à l'objet désigné par p.* Dans cet exemple, le receveur est l'instance désignée par "`p`" (ou référencée par "`p`"), le message est "`translater(2,3)`". Enfin, on dit également que "`translater(dx,dy : REAL)`" est le sélecteur de cet envoi de message.

A l'exécution, c'est le type du receveur qui sert à choisir la routine à déclencher comme nous le verrons plus tard dans la section consacrée à la liaison dynamique (section 20 page 128).

Partant du principe qu'une routine sert à manipuler une seule catégorie d'objets bien précise (les objets de la classe où est définie la routine en question), il est impossible de déclencher l'exécution d'une routine sans préciser un receveur (i.e. sans donner l'objet *cible* sur lequel on souhaite appliquer l'opération). L'exécution du fragment de programme Eiffel de la vue 29 provoque donc une erreur lors de l'exécution. Comme il est souvent beaucoup plus difficile que sur l'exemple de la vue 29 de détecter statiquement (c'est-à-dire avant l'exécution) ce genre d'erreur, la plupart des compilateurs ne cherchent même pas à les détecter ! Aucun message d'erreur n'apparaît lors de la compilation du texte source de la vue 29. L'erreur sera détectée uniquement lors de l'exécution. Le message d'erreur est :

```
*** Error at Run Time ***: Call with a Void target.
```

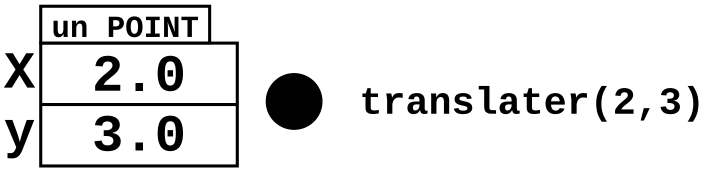
Cette erreur est probablement l'erreur la plus courante pouvant survenir lors de l'exécution d'un programme Eiffel. Un bon exercice pour les débutants consiste à taper la classe de la vue 29 afin de reproduire le message d'erreur en question. A condition de ne pas avoir compilé le programme en mode `-boost`, d'autres informations accompagnent ce message d'erreur et permettent de localiser très précisément la cause de l'erreur. Il faut rapidement s'habituer à ce message d'erreur ainsi qu'à l'utilisation du débogueur (en particulier la visualisation de la pile dans le contexte précis de l'erreur).

La vue 30 présente le vocabulaire habituellement utilisé pour Eiffel : primitive, routine, procédure, fonction et attribut. Il n'est pas inutile de connaître également les termes *méthode* et *variable d'instance* qui sont utilisés dans d'autres langages à objets comme Smalltalk ou Java par exemple. A mon avis, le vocabulaire de Smalltalk (variable d'instance et méthode) correspond mieux à l'esprit des langages de classes et surtout évite la confusion possible entre la notion de procédure Pascal et celle de procédure Eiffel[1].

**message, receveur et sélecteur**

`p.translater(2,3)`

Vue 28




[1]Une procédure Eiffel n'est pas dissociable de la classe où elle est définie alors qu'une procédure Pascal (ou une fonction C) est définie de façon globale, en dehors de tout contexte particulier.

Vue 29

## Pas de message sans receveur !

```
class LOUCHE
creation
  debut
feature {ANY}
  debut  is
     local
       p : POINT
     do
        p.translater(2,3)
     end -- debut
end -- class louche
```

```
*** Error at Run Time ***: Call with a Void target.
```

Vue 30

## Vocabulaire Eiffel

**routine** : procédure ou fonction (ou *méthode*)

**fonction** : routine avec un type pour le résultat

**procédure** : routine sans type pour le résultat

**attribut** : mémoire d'un objet (ou *variable d'instance*)

**primitive** : routine ou attribut

## 3.6 Constructeurs

La clause **creation**, déjà utilisée pour indiquer la procédure servant de programme principal indique la liste des procédures pouvant servir de constructeurs pour une classe (vue 31).

Un constructeur (une procédure dont le nom figure derrière le mot clé **creation**) peut être utilisé en combinaison avec la notation “**create** ” qui marque l'instanciation (vue 32, ⊙ 2 et ⊙ 5) ou peut aussi être utilisé comme une procédure ordinaire ⊙ 4. Dans ce dernier cas, il n'y a pas d'instanciation. Dès qu'une classe comporte un (ou des) constructeur(s), il est interdit d'utiliser la notation d'instanciation seule (comme “**create** `p`” par exemple). Il faut impérativement passer par un constructeur.

**Exercice 2** Que dire du fragment de programme suivant lors de la compilation ? lors de l'exécution ?

```
...
p := Void
p.translater(2,3)
```

Le mot reservé **Current** permet de faire référence à l'objet receveur d'un message donné (on parle aussi de *cible*, vue 34). En accord avec le principe de la vue 29, **Current** n'est jamais `Void`.

**Exercice 3** Écrivez sans utiliser **Current** une deuxième version de la procédure `translaterDeuxFois` de la vue 34. Comparez les deux solutions.

**Exercice 4** Quel est votre avis sur le fragment de code suivant ? erreur à la compilation ? erreur à l'exécution ? défaillance (temporaire) de l'auteur du programme ?

```
...
 if Current = Void  then
      io.put_string("Bonjour")
 else
      io.put_string("Oui")
 end
...
```

## création/instanciation

Vue 31

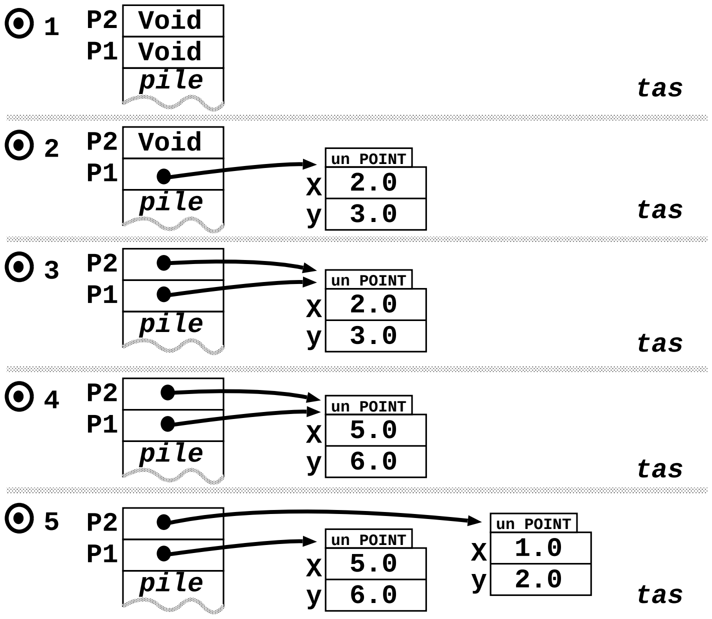
```
class POINT
creation {ANY}
   make
feature {ANY} --  Les attributs :
  x, y : REAL
feature {ANY} --  Les routines :
  make(vx, vy : REAL) is
      do
        x := vx
        y := vy
      end --  make
  translater (dx, dy : REAL)  is
     ...
```

## Utilisation des constructeurs

Vue 32

```
  ...
    local
      p1, p2 : POINT
    do -- ⊙ 1
      --  Instanciation d'un point désigné par p1 :
      create p1.make(2,3) -- ⊙ 2
      --  Translation du point désigné par p1 :
      p2 := p1 -- ⊙ 3
      p2.make(5,6) -- ⊙ 4
      create p2.make(1,2) -- ⊙ 5
```

Vue 33




## Current pour désigner le receveur

Vue 34

```
class POINT
  ...
  translaterDeuxFois (dx, dy : REAL) is
     do
        Current.translater(dx,dy)
        Current.translater(dx,dy)
     end -- translaterDeuxFois
  ...
end -- class point
```

# 4 Clients/Fournisseurs et interfaces

## 4.1 Clients et fournisseurs

On peut définir un triangle à partir de trois points (vue 35). Une instance de la classe TRIANGLE possède trois attributs initialisés par défaut à `Void`. Notez que la procédure `translater` de la classe TRIANGLE utilise la procédure de même nom de la classe POINT (ce **n'est pas** récursif).

La définition de la classe TRIANGLE utilise le type POINT (vue 35). On dit alors que la classe TRIANGLE *est un client de* la classe POINT (vue 37). Réciproquement, on dit que POINT *est un fournisseur* de TRIANGLE.

Vue 35

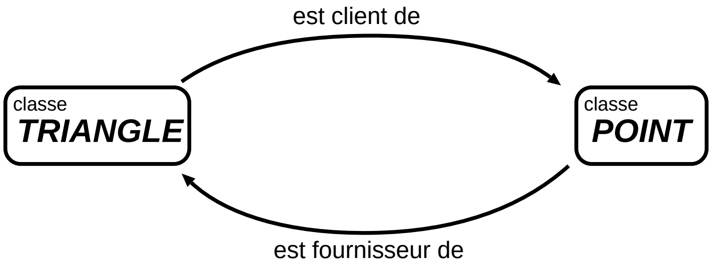
```
class TRIANGLE
creation {ANY}
  make
feature {ANY}
  p1, p2, p3 : POINT
  make (vp1, vp2, vp3 : POINT) is
      do
        p1 := vp1; p2 := vp2; p3 := vp3
      end -- make
  translater (dx, dy : REAL) is
      do
        p1.translater(dx,dy)
        p2.translater(dx,dy)
        p3.translater(dx,dy)
      end -- translater
```

Vue 36

```
feature {NONE}
  melanger is
     -- Etrange procedure ...
      local
        tmp : POINT
      do
        tmp := p1
        p1 := p2
        p2 := tmp
      end -- melanger
end -- triangle
```

## CLIENTS et FOURNISSEURS

Vue 37




## INTERFACE d'une classe

## 4.2 Interface d'une classe

L'*interface* d'une classe (ou partie publique d'une classe) correspond à l'ensemble des primitives utilisables par un client. La mention {ANY} derrière le mot clé **feature** indique que les primitives définies dans la suite sont utilisables par n'importe quel client. Ainsi, un client de la classe TRIANGLE (vue 35) peut utiliser toutes les primitives `p1`, `p2`, `p3`, `make` et `translater`. Les attributs (`p1`, `p2` et `p3`) ne sont pas exportés en écriture. Seule la consultation de ces attributs est possible. Un client ne peut jamais changer directement la valeur d'un attribut, il peut seulement lire la valeur (vue 39). Syntaxiquement, pour un client, la consultation d'un attribut et l'appel d'une fonction sans argument sont identiques : on parle dans ce cas du *principe de référence uniforme*. Ce choix syntaxique est important car il permet de modifier l'implantation d'une classe sans rien changer du point de vue des clients (c'est à dire sans changer son interface). Ainsi, une valeur anciennement mémorisée dans un attribut peut devenir le résultat d'un calcul issu de l'exécution d'une fonction sans argument, et inversement, ceci sans modifier les programmes clients.

Inversement, la mention {NONE} indique que les primitives ne sont utilisables qu'à l'intérieur de la classe elle-même (partie privée de la classe). Dans une même classe, on peut mettre plusieurs clauses **feature** et ainsi exporter ou non une primitive. L'ordre dans lequel on donne les primitives est sans importance. La vue 36 complète le texte source de la classe TRIANGLE commencé à la vue précédente. Le compilateur vérifie qu'un client n'utilise que des primitives exportées (vue 38) et qu'il n'affecte pas d'attributs. Syntaxiquement, l'écriture d'un attribut est impossible depuis une autre classe. En fait, le caractère '.' n'est jamais autorisé à gauche de l'opérateur d'affectation `:=` (voir le diagramme *instruction* de la page **??**). La seule façon d'autoriser l'écriture d'un attribut depuis une autre classe consiste à ajouter explicitement une procédure d'écriture et à exporter cette procédure[1].

Finalement, toujours sur la vue 38, seul un receveur, instance de TRIANGLE peut utiliser `melanger`.

Entre les deux extrêmes que sont ANY et NONE il est possible de moduler l'exportation d'une primitive vers n'importe quelle classe. Par exemple, si on souhaite autoriser l'opération `melanger` dans le corps des routines de la classe POINT, on mentionne cette classe dans la clause **feature** correspondante (vue 40). Cet aspect est très important pour contrôler les interactions (on parle aussi de couplage) entre différentes classes (ou modules) d'un logiciel complexe[2].

**Exercice 5** En Eiffel, même si la classe POINT possède un attribut `x`, l'instruction suivante est illicite : `point.x := 3.5`
1. Comment faut-il procéder pour arriver à ses fins sans que le compilateur Eiffel rejette le programme ?
2. Selon vous, pour quelle(s) raison(s) est-il interdit de modifier les attributs d'un objet depuis l'extérieur ?

[1] Tout comme C++, Java n'oblige pas le passage par une procédure d'écriture ce qui est une erreur à mon sens.

[2] L'absence d'un mécanisme sérieux d'exportation est un des graves défauts de Java.

### exportation des primitives

Vue 38

```
local
   t : TRIANGLE
do
   ...
```

***t.melanger*** ← **erreur à la compilation**

```
class TRIANGLE
  ...
        Current.melanger
  ...
end -- triangle
```

Vue 39

```
...
local
    pa : POINT
    r : REAL
    t : TRIANGLE
do
    !!pa.creer(1,2)
    r := pa.x
```

***pa.x := 3***

***t.p1 := pa***

**ERREUR SYNTAXIQUE**

```
class TRIANGLE
  ...
feature {POINT}
  melanger is
  ...
end -- triangle
```

Vue 40

**exporter sélectivement**

```
class POINT
  ...
              t : TRIANGLE
              ...
              t.melanger
  ...
end -- triangle
```

# 5 Comparer, manipuler et créer des objets

## 5.1 Comparer deux objets

La notion de mémoire informatique impose de pouvoir distinguer le fait que deux objets soient identiques ou bien qu'il s'agisse du même et unique objet. Autrement dit, par exemple, si les objets que l'on manipule sont des voitures, il est possible de se demander si la voiture `v1` et la voiture `v2` sont deux voitures identiques (même marque, même couleur) ou bien s'il s'agit d'une seule et même voiture (la mienne par exemple).

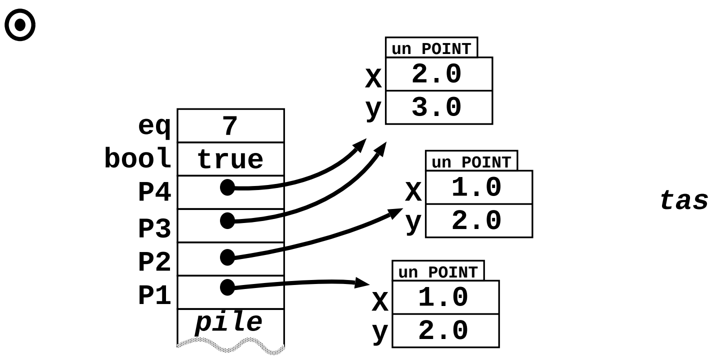
Le problème de la comparaison d'objets est un problème finalement assez complexe que nous reprendrons en détail plus tard (en section 27 page 156). Pour l'instant et pour simplifier, toujours sur l'exemple des voitures, la fonction `is_equal` permet de savoir si les deux voitures sont de la même marque et de la même couleur alors que l'opérateur de comparaison `=` permet de savoir s'il s'agit d'une seule et unique voiture. Les vues 41 et 42 montrent l'utilisation de ces deux façon de comparer des objets en utilisant la classe POINT.

## Comparaison : `is_equal` et `=`

Vue 41

```
...
local
   p1, p2, p3, p4: POINT; bool: BOOLEAN; eq: INTEGER
do
     create p1.make(1,2)
     create p2.make(1,2)
     create p3.make(2,3)
     p4 := p3
     if p1.is_equal(p2) then
        bool := not p1.is_equal(p3)
     end
     if p1 = p2 then
         eq := 3
     elseif p3 = p4 then
         eq := 7
     end
     -- ⊙ cf. schéma mémoire sur la vue suivante
```

Vue 42



## 5.2 Manipuler des triangles

Les vues 44, 45, 46 et 47 correspondent aux schémas mémoire pour les points d'arrêt du code Eiffel de la vue 43. Encore une fois, pour une bonne compréhension des mécanismes élémentaires des langages à objets, il est indispensable de bien comprendre la signification de ces schémas mémoire. Un exercice indispensable consiste à redessiner vous même sur une feuille de papier les différentes étapes de cette exécution. Si vous êtes à côté d'un ordinateur au moment de cet exercice, vous pouvez vous aider en utilisant le débogueur de SmartEiffel (`-sedb`) qui permet de suivre l'exécution au pas par pas.

A l'instant correspondant à la vue 46, une même instance de la classe POINT (le POINT `[2.0,2.0]`) est référencée par les deux triangles. L'instance `[5.0,5.0]` est référencée deux fois par le même triangle (on parle dans ce cas d'*aliasing*).

A la vue 47, deux instances, une de la classe POINT et une de la classe TRIANGLE ne sont plus accessibles du tout (ces instances sont en grisé sur cette vue). La place mémoire occupée par ces deux instances peut être alors récupérée par le ramasse-miettes dès que celui-ci se mettra en fonction. En général, le ramassage n'est pas immédiat car le déclenchement du ramasse-miettes dépend de l'utilisation mémoire totale.

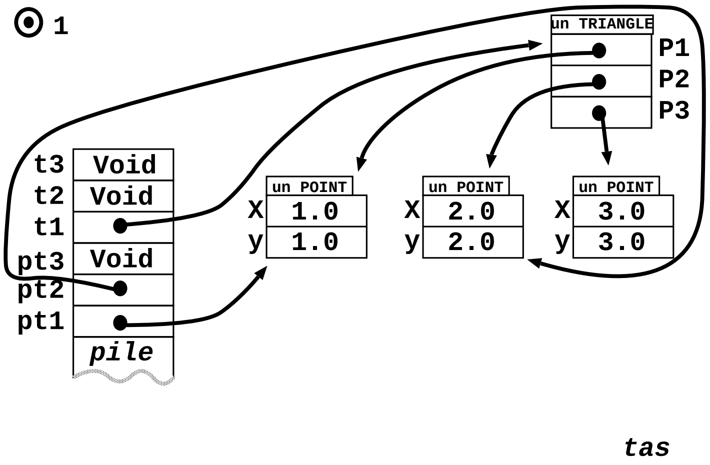
**Exercice 6** En utilisant uniquement le texte source de la vue 43, redessinez les schémas des vues 44, 45, 46 et 47.

**Exercice 7** Pendant l'exécution du fragment de programme de la vue 43, quel est le nombre total d'instanciations effectuées ?

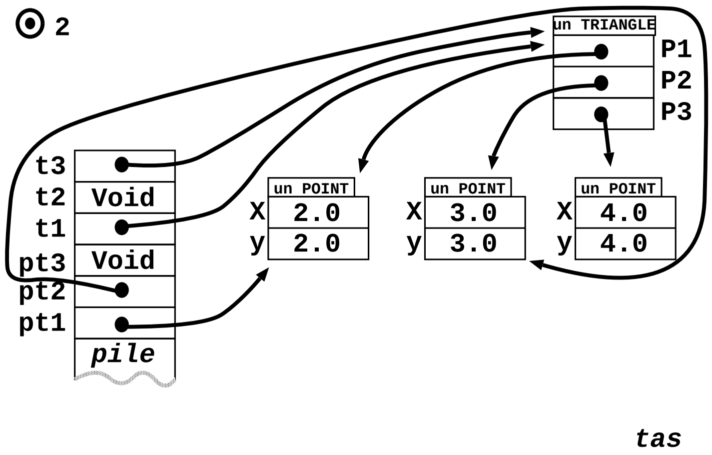
Vue 43

```
local
   pt1, pt2, pt3 : POINT
   t1, t2, t3 : TRIANGLE
do
     create pt1.make(1,1)
     create pt2.make(2,2)
     create pt3.make(3,3)
     create t1.make(pt1, pt2, pt3)
     pt3 := Void -- ⊙ 1
     t3 := t1
     t3.translater(1,1) -- ⊙ 2
     create pt2.make(5, 5)
     create t2.make(pt2, pt1, pt2) -- ⊙ 3
     t2.translater(1, 1)
     pt2 := t1.p3
     t3 := Void
     t1 := t3 -- ⊙ 4
```

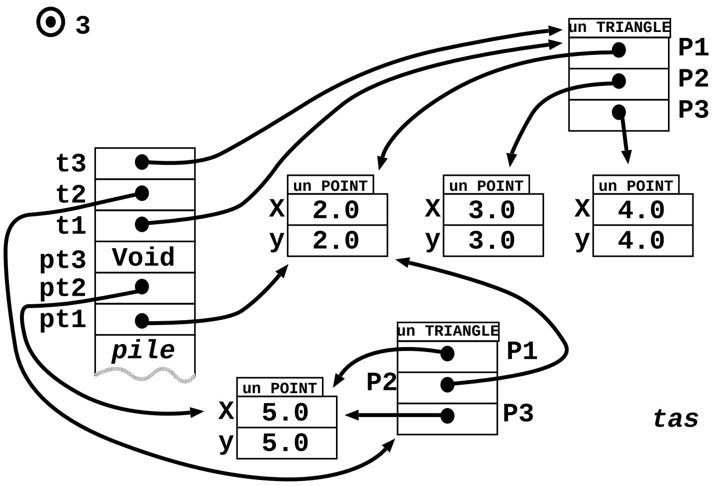
Vue 44


1
un TRIANGLE
P1
P2
P3
t3
Void
t2
Void
t1
pt3
Void
pt2
pt1
pile
un POINT
x
1.0
y
1.0
un POINT
x
2.0
y
2.0
un POINT
x
3.0
y
3.0
tas

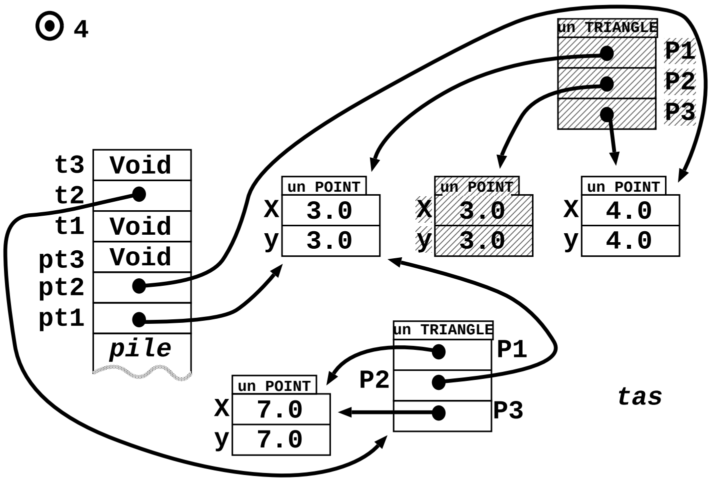
Vue 45


2
un TRIANGLE
P1
P2
P3
t3
t2
Void
t1
pt3
Void
pt2
pt1
pile
un POINT
x 2.0
y 2.0
un POINT
x 3.0
y 3.0
un POINT
x 4.0
y 4.0
tas

Vue 46


3
un TRIANGLE
P1
P2
P3
t3
t2
t1
pt3
Void
pt2
pt1
pile
un POINT
x 2.0
y 2.0
un POINT
x 3.0
y 3.0
un POINT
x 4.0
y 4.0
un TRIANGLE
P1
P2
P3
un POINT
x 5.0
y 5.0
tas

Vue 47




## 5.3 Ramasse-miettes

Volontairement, Eiffel n'offre pas la possibilité au programmeur de restituer explicitement la mémoire occupée par une instance dans le tas (vue 48). Ce choix évite d'aboutir à la situation incohérente dans laquelle une zone mémoire du tas est supposée libre par le gestionnaire de mémoire alors qu'elle est encore référencée par l'utilisateur (cas d'un pointeur invalide, en anglais, *dandling pointer*).

Ramasse-miettes est le nom donné au programme chargé de collecter les zones mémoires libres dans le tas (les instances inaccessibles par exemple). Plusieurs variantes de ramasse-miettes existent :

- **incrémental** - s'il s'agit d'un ramasse-miettes qui fonctionne au fur et à mesure de l'exécution du programme utilisateur ; un tel ramasse-miettes n'attend pas que le tas soit complètement plein pour chercher des places libres et ne provoque pas d'interruption du programme utilisateur ; tout se passe comme s'il fonctionnait en parallèle.
- **déclenchable** - si le ramasse-miettes peut être déclenché explicitement par l'utilisateur ; en général il se déclenche lorsqu'une allocation survient et que la zone libre du tas est pleine.
- **débrayable** - s'il est possible de mettre hors service le ramasse-miettes pour éviter un risque d'interruption ; en Eiffel, le ramasse-miettes est débrayable.

Le ramasse-miettes de SmartEiffel n'est pas incrémental. Il peut être déclenché explicitement ou être débrayé (voir pour cela la classe MEMORY). En outre, pour les programmes sans *fuite de mémoire*, il est possible de ne pas intégrer de ramasse-miettes du tout (voir l'option `-no_gc` de la commande `compile`).

**Exercice 8** Quel genre de programme Eiffel peut-on écrire pour vérifier le bon fonctionnement du ramasse-miettes ? Écrire et faire fonctionner un tel programme pour savoir si le ramasse-miettes est effectivement en service.
Note 1 : pensez à utiliser l'option `-gc_info` pour vérifier que le ramasse-miettes est bien déclenché.
Note 2 : soyez prudent de ne pas écrouler le fonctionnement de la machine pendant votre essai !

Ramasse-miettes ou pas, ce n'est pas une raison pour gaspiller de la mémoire. Vous devez savoir exactement s'il y a lieu d'instancier (d'allouer) ou non !

**allocation/restitution**

| | Pascal | C | Eiffel |
|---|---|---|---|
| allocation | new | malloc | **create** |
| restitution | dispose | free | |

Vue 48

**ramasse-miettes Eiffel**

*Incrémental ?* oui/non

*Déclenchement ?* oui/non

*Débrayable ?* oui

## 5.4 Faire la copie d'un objet

Afin de laisser la possibilité de gérer au mieux la mémoire, il existe deux fonctions pour faire la copie d'objets (vue 49). La procédure `copy` sert à ré-initialiser un objet préalablement existant à partir d'un modèle donné. La fonction `twin` sert à créer un objet qui sera instancié pour l'occasion. En fait, comme nous le verrons en détail plus tard (page 156), la fonction `twin` appelle la procédure `copy` juste après l'allocation de la nouvelle instance.

**Exercice 9** Simuler l'appel de la fonction `twin` de la vue 53 en utilisant un constructeur de la classe TRIANGLE ainsi que la procédure `copy`.

**Exercice 10** Que se passe-t-il si on exécute l'instruction de la vue 53 en partant de l'état mémoire de la vue 52 ? Faire le schéma mémoire.

**Exercice 11** Que se passe-t-il si on exécute l'instruction de la vue 52 en partant de l'état mémoire de la vue 53 ?

**Exercice 12** Quel est le résultat si on applique la fonction `deep_twin` sur l'état mémoire de la vue 53 ? Faire le schéma mémoire.

Vue 49

### `copy` : la procédure

```
t1.copy(t2)
```

*Copier sans instancier (Modifie la cible)*

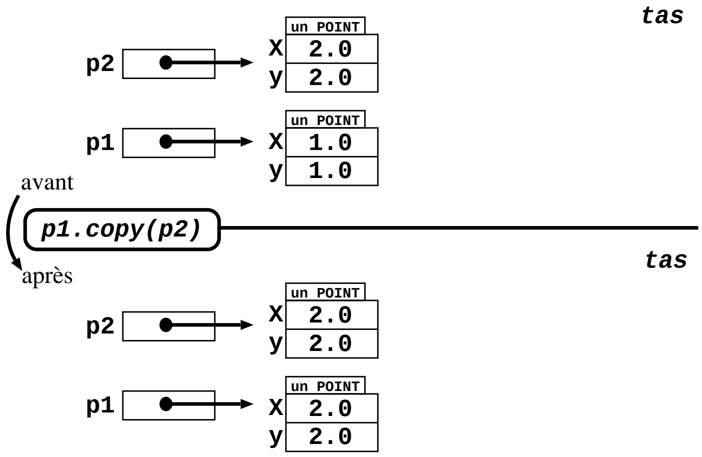
---

### `twin` : la fonction

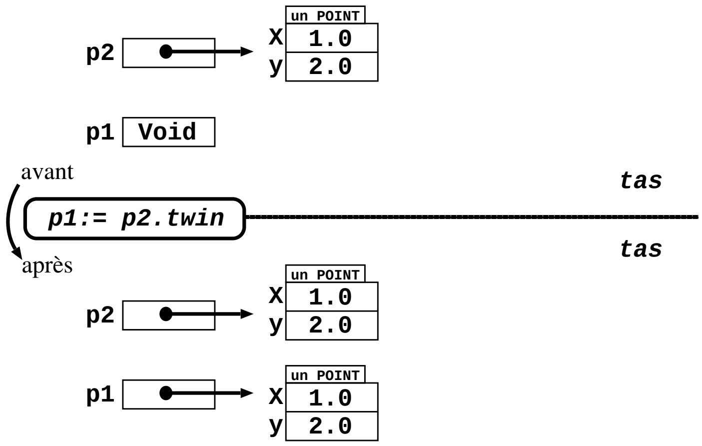
```
t1 := t2.twin
```

*Instancier puis copier (Retourne une nouvelle instance)*

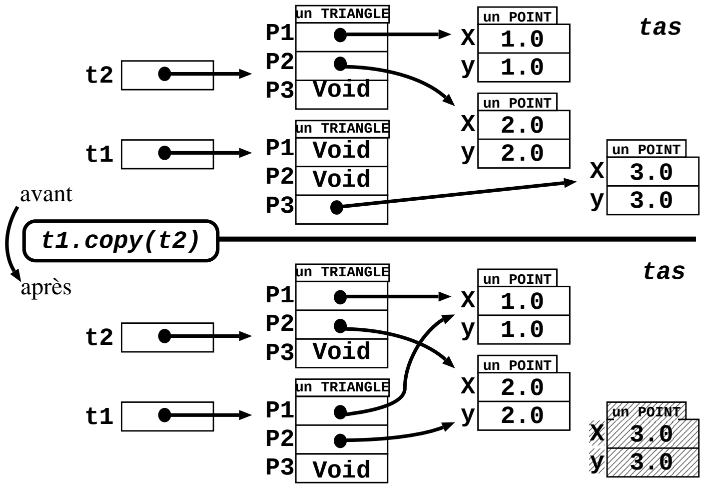
Vue 50


tas
p2
un POINT
x 2.0
y 2.0
p1
un POINT
x 1.0
y 1.0
avant
p1.copy(p2)
après
tas
p2
un POINT
x 2.0
y 2.0
p1
un POINT
x 2.0
y 2.0

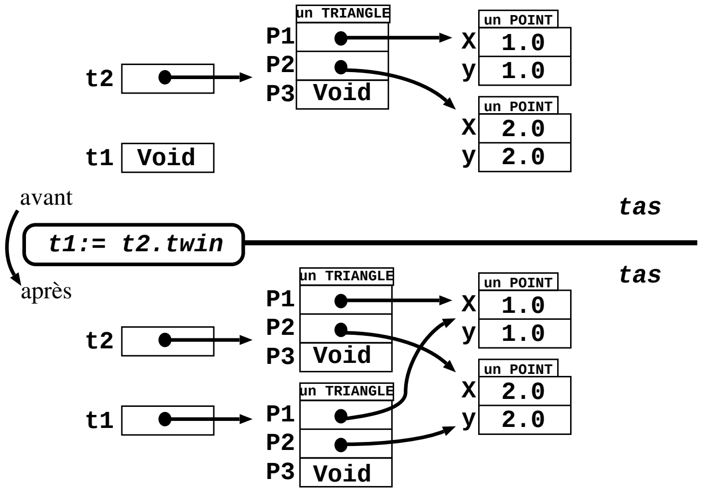
Vue 51


p2
un POINT
x 1.0
y 2.0
p1 Void
avant
tas
p1:= p2.twin
tas
après
p2
un POINT
x 1.0
y 2.0
p1
un POINT
x 1.0
y 2.0

Vue 52


t1.copy(t2)
avant
après
tas
t2
t1
un TRIANGLE
P1
P2
P3
Void
un POINT
x
y
1.0
2.0
3.0

Vue 53


t1:= t2.twin
avant
après
tas
t2
t1
Void
un TRIANGLE
P1
P2
P3
un POINT
x
y
1.0
2.0

## Copier en profondeur

### `deep_twin` : la fonction

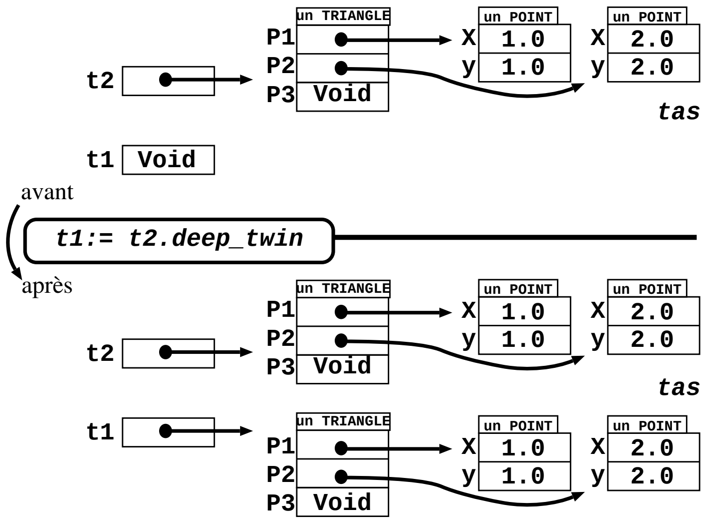
Vue 54

```
t1 := t2.deep_twin
```

*Fabrique une copie n'ayant aucune zone mémoire commune avec le modèle initial*

### Attention au gaspillage !

Vue 55



# 6 Passage des arguments

Les *arguments formels* sont les arguments utilisés dans la définition d'une routine (`pA` et `y` sur la vue 56). Les *arguments effectifs* sont ceux que l'on utilise pour appeler la routine (`p2` et `x` sur la vue 56). En Eiffel, il n'existe qu'un seul mode de passage des arguments : **le mode de passage par valeur**. Ce mode correspond au mode de passage sans le mot clé **var** du langage Pascal ou bien au mode de passage par défaut du langage C. Il consiste à initialiser les arguments formels avec une copie de la valeur des arguments effectifs. La place mémoire pour les arguments formels est allouée dans la pile (comme pour les variables locales). Si un argument correspond a une classe `expanded`, on passe dans la pile une copie de la valeur correspondante. Si un argument est un pointeur vers une instance (classe non `expanded`), on passe dans la pile une copie de ce pointeur. Le pointeur sur le receveur, **Current**, est également passé dans la pile ainsi que l'adresse du point de retour vers l'appelant. La phase de liaison entre arguments formels et arguments effectifs ne provoque pas d'instanciation[1].

Sur l'exemple, on suppose qu'il existe une routine `selecteur` dans la classe POINT, et l'on considère un appel de cette routine (vue 56). La vue 57 montre l'état de la pile avant l'appel de la routine `selecteur` ainsi que l'état de la pile au début de l'exécution de la routine `selecteur`, juste après la phase de liaison entre les arguments formels et les arguments effectifs. L'association effectuée entre arguments formels et arguments effectifs montre que la routine appelée est susceptible de modifier les arguments manipulés par des pointeurs. Les instances pointées avant l'appel par `p1` et `p2` peuvent être modifiées par l'exécution de la routine `selecteur`. Le réel `x` ne peut pas être modifié par la routine `selecteur`.

```
p1, p2 : POINT
x : REAL
...
-- ⊙ Avant appel
p1.selecteur(p2,x)
-- ⊙ Après appel
```

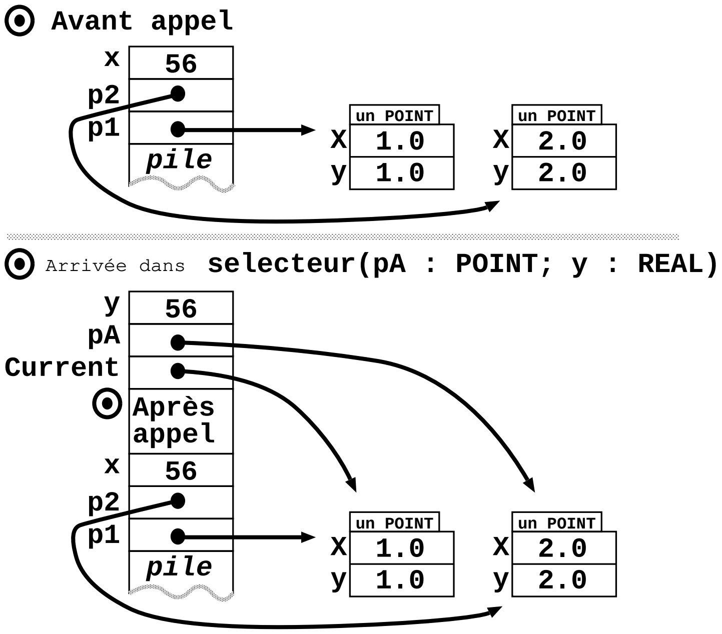
Vue 56

**arguments des routines**

```
class POINT
   ...
   selecteur(pA : POINT; y : REAL)
   ...
end -- class POINT
```

[1] Sauf si l'on considère le passage d'un type `expanded` dans type référence compatible. Encore une fois, comme la manipulation des classes `expanded` est à mon avis une affaire de spécialistes, je préfère laisser ce cas particulier de côté pour l'instant.

Vue 57




# 7 ARRAY et STRING

Ces classes, bien que traitées de façon spécifique par le compilateur Eiffel, sont décrites complètement en Eiffel (cf. `.../SmartEiffel/lib/kernel/array.e` pour la classe ARRAY et, dans le même répertoire, `string.e` pour la classe STRING). En fait, le seul traitement spécifique effectué par le compilateur pour ces deux classes consiste à prendre en compte, d'une part la notation des chaînes de caractère explicites (comme `"Hello World."` par exemple) ainsi que d'autre part la notation de construction explicite de tableaux (vue 63).

## 7.1 Classe STRING

Les chaînes de caractères sont représentées habituellement à l'aide d'objets de la classe STRING. Ces chaînes de caractères sont de longueur variable et peuvent s'allonger ou rétrécir durant l'exécution, selon les besoins du programmeur.

La vue 58 présente quelques une des routines de la classe STRING. Cette classe offre aussi la possibilité d'étendre une chaîne de caractères existante (vue 59, procédure `extend` et `precede`). Il est important de constater que, dans le cas où deux variables référencent (pointent) la même chaîne, et lorsque l'on étend la chaîne en question, les deux variables pointent toujours la même chaîne (physique). Ceci donne alors l'impression que les deux chaînes ont été étendues simultanément alors qu'en fait il n'existe qu'une seule et unique chaîne en mémoire. Dans le cas où le même et unique objet est accessible par deux chemins différents, on parle souvent d'*aliasing*. Ceci se produit très souvent et il est nécessaire de bien maîtriser ces phénomènes d'aliasing pour écrire des application efficaces et moins gourmandes en mémoire.

Si l'on consulte le texte source de la classe STRING on découvre comment il est possible de changer dynamiquement la taille d'une chaîne mémorisée, sans changer l'emplacement mémoire de l'instance initiale (vue 60). Partant d'une variable de type STRING, il faut suivre deux pointeurs pour atteindre un caractère particulier de la chaîne. L'instance de la classe NATIVE_ARRAY correspond à une chaîne de caractères ordinaire (une chaîne de caractères du langage C), non extensible et rangée de façon contiguë en mémoire. En cas d'extension de la chaîne de la classe STRING, on alloue en mémoire une nouvelle instance de la classe NATIVE_ARRAY. L'instance de la classe STRING ne change pas d'adresse en mémoire.

Pour couronner le tout, la classe STRING possède une définition **spécifique** de la procédure `copy` qui copie aussi la zone de stockage des caractères (vue 61). La fonction `copy` de la classe STRING permet donc d'obtenir une copie de la chaîne initiale sans aucune zone mémoire commune avec cette chaîne initiale.

## Client de la classe STRING

Vue 58

```
s1, s2 : STRING
c : CHARACTER
...
--  Instancier une chaîne de 3 caractères espace :
create s1.make(3)
--  Changer le premier caractère :
s1.put('a',1)
--  Changer le troisième caractère :
s1.put('z',s1.count)
--  Deux notations (équivalentes) pour consulter :
c := s1.item(2)
c := s1 @ 2
--  Instancier une sous-chaîne :
s2 := s1.substring(2,3)
```

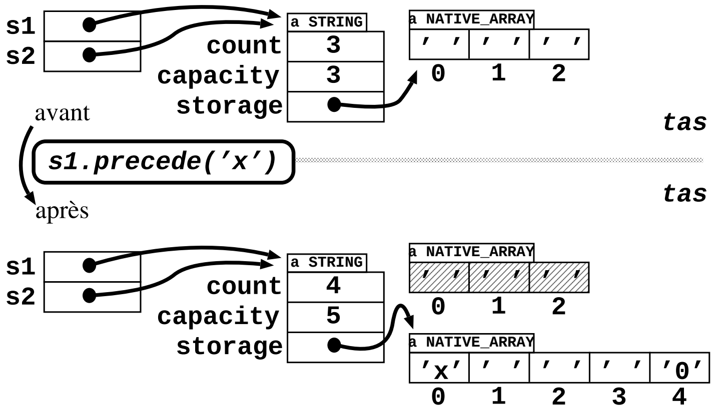
```
-- Étendre à droite :
s2.extend('x')
-- Étendre à gauche :
s2.precede(c)
vrai := ((s2.item(s2.count)) = 'x') -- ← True
```

Vue 59

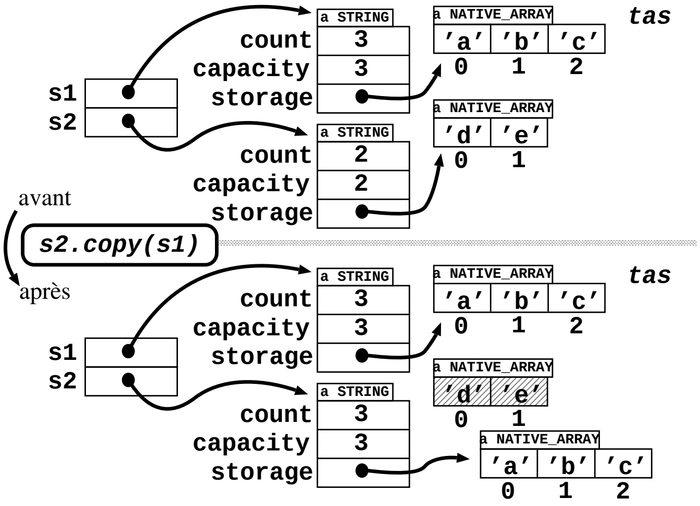
## Comment font ils ça ?

```
create s1.make_filled(' ', 3)
s2 := s1
s1.precede('x')
vrai1 := ((s2.item(1)) = 'x') -- ← True
vrai2 := (s1 = s2) -- ← True
```

Vue 60



Vue 61




## 7.2 Interface de la classe STRING – short

**class interface** `STRING`

  --
  -- *Resizable character STRINGs indexed from* `1` *to* `count`*.*
  --

**creation**

  `make (needed_capacity: INTEGER)`
    -- *Initialize the string to have at least* `needed_capacity`
    -- *characters of storage.*
    **require**
      `non_negative_size: needed_capacity >= 0`
    **ensure**
      `needed_capacity <= capacity;`
      `empty_string: count = 0`
  `copy (other: STRING)`
    -- *Copy* `other` *onto Current.*
    **require**
      `other_not_void: other /= Void`
    **ensure**
      `count = other.count;`
      `is_equal: is_equal(other)`
  `make_empty`
    -- *Create an empty string.*
  `make_filled (c: CHARACTER; n: INTEGER)`
    -- *Initialize string with* `n` *copies of* `c`*.*
    **require**

```
      valid_count: n >= 0
    ensure
      count_set: count = n;
      filled: occurrences(c) = count
  from_external (p: POINTER)
    -- Internal storage is set using p (may be dangerous because
    -- the external C string p is not duplicated).
    -- Assume p has a null character at the end in order to
    -- compute the Eiffel count. This extra null character
    -- is not part of the Eiffel STRING.
    -- Also consider from_external_copy to choose the most appropriate.
    require
      p.is_not_null
    ensure
      capacity = count + 1;
      p = to_external
  from_external_copy (p: POINTER)
    -- Internal storage is set using a copy of p.
    -- Assume p has a null character at the end in order to
    -- compute the Eiffel count. This extra null character
    -- is not part of the Eiffel STRING.
    -- Also consider from_external to choose the most appropriate.
    require
      p.is_not_null
feature(s)
  hash_code: INTEGER
    -- The hash-code value of Current.
    ensure
      good_hash_value: Result >= 0
  is_equal (other: STRING): BOOLEAN
    -- Do both strings have the same character sequence?
    -- (Redefined from GENERAL)
    require
      other_not_void: other /= Void
    ensure
      trichotomy: Result = (not (Current < other) and not (other < Current));
      consistent: standard_is_equal(other) implies Result;
      symmetric: Result implies other.is_equal(Current)
  infix "<" (other: STRING): BOOLEAN
    -- Is Current less than other?
    require
      other_exists: other /= Void
    ensure
      asymmetric: Result implies not (other < Current)
  infix "<=" (other: STRING): BOOLEAN
    -- Is Current less than or equal other?
    require
      other_exists: other /= Void
    ensure
      definition: Result = (Current < other or is_equal(other))
  infix ">" (other: STRING): BOOLEAN
    -- Is Current strictly greater than other?
    require
      other_exists: other /= Void
    ensure
      definition: Result = (other < Current)
  infix ">=" (other: STRING): BOOLEAN
```

```
      -- Is Current greater than or equal than other?
      require
         other_exists: other /= Void
      ensure
         definition: Result = (other <= Current)
   in_range (lower, upper: STRING): BOOLEAN
      -- Return true if Current is in range [lower..upper]
      ensure
         Result = (Current >= lower and Current <= upper)
   compare (other: STRING): INTEGER
      -- If current object equal to other, 0;
      -- if smaller, -1; if greater, 1.
      require
         other_exists: other /= Void
      ensure
         equal_zero: Result = 0 = is_equal(other);
         smaller_negative: Result = - 1 = Current < other;
         greater_positive: Result = 1 = Current > other
   three_way_comparison (other: STRING): INTEGER
      -- If current object equal to other, 0;
      -- if smaller, -1; if greater, 1.
      require
         other_exists: other /= Void
      ensure
         equal_zero: Result = 0 = is_equal(other);
         smaller_negative: Result = - 1 = Current < other;
         greater_positive: Result = 1 = Current > other
   min (other: STRING): STRING
      -- Minimum of Current and other.
      require
         other /= Void
      ensure
         Result <= Current and then Result <= other;
         compare(Result) = 0 or else other.compare(Result) = 0
   max (other: STRING): STRING
      -- Maximum of Current and other.
      require
         other /= Void
      ensure
         Result >= Current and then Result >= other;
         compare(Result) = 0 or else other.compare(Result) = 0
   count: INTEGER
      -- String length which is also the maximum valid index.
   capacity: INTEGER
      -- Capacity of the storage area.
   lower: INTEGER
      -- Minimum index; actually, this is always 1 (this feature is
      -- here to mimic the one of the COLLECTIONs hierarchy).
   upper: INTEGER
      -- Maximum index; actually the same value as count (this
      -- feature is here to mimic the one of the COLLECTION hierarchy).
      ensure
         Result = count
feature(s) -- Creation / Modification:
   make (needed_capacity: INTEGER)
      -- Initialize the string to have at least needed_capacity
      -- characters of storage.
```

```
      require
         non_negative_size: needed_capacity >= 0
      ensure
         needed_capacity <= capacity;
         empty_string: count = 0
   make_empty
      -- Create an empty string.
   make_filled (c: CHARACTER; n: INTEGER)
      -- Initialize string with n copies of c.
      require
         valid_count: n >= 0
      ensure
         count_set: count = n;
         filled: occurrences(c) = count
feature(s) -- Testing:
   is_empty: BOOLEAN
      -- Has string length 0?
   item (i: INTEGER): CHARACTER
      -- Character at position i.
      require
         valid_index: valid_index(i)
   valid_index (i: INTEGER): BOOLEAN
      -- True when i is valid (i.e., inside actual bounds).
      ensure
         definition: Result = (1 <= i and i <= count)
   same_as (other: STRING): BOOLEAN
      -- Case insensitive is_equal.
      require
         other /= Void
   item_code (i: INTEGER): INTEGER
      -- Code of character at position i.
      require
         valid_index: valid_index(i)
   index_of (c: CHARACTER; start_index: INTEGER): INTEGER
      -- Index of first occurrence of c at or after start_index,
      -- 0 if none.
      --
      -- Note: see also first_index_of to start searching at 1.
      -- Actually first_index_of is not exactely the equivalent of index_of
      -- in release -0.76: when the search failed the result is
      -- now 0 (and no longer count + 1). So, to update your code from
      -- release -0.76 to release -0.75, replace index_of with first_index_of
      -- and be careful to see what's done with the result !
      require
         valid_start_index: start_index >= 1 and start_index <= count + 1
      ensure
         Result /= 0 implies item(Result) = c
   first_index_of (c: CHARACTER): INTEGER
      -- Index of first occurrence of c at index 1 or after index 1.
      ensure
         definition: Result = index_of(c,1)
   has (c: CHARACTER): BOOLEAN
      -- True if c is in the STRING.
   has_substring (other: STRING): BOOLEAN
      -- True if Current contains other.
      require
         other_not_void: other /= Void
```

```
occurrences (c: CHARACTER): INTEGER
   -- Number of times character c appears in the string.
   ensure
      Result >= 0
has_suffix (s: STRING): BOOLEAN
   -- True if suffix of Current is s.
   require
      s /= Void
has_prefix (p: STRING): BOOLEAN
   -- True if prefix of Current is p.
   require
      p /= Void
feature(s) -- Testing and Conversion:
is_boolean: BOOLEAN
   -- Does Current represent a BOOLEAN?
   -- Valid BOOLEANS are "true" and "false".
to_boolean: BOOLEAN
   -- Boolean value;
   -- "true" yields true, "false" yields false (what a surprise).
   require
      represents_a_boolean: is_boolean
is_integer: BOOLEAN
   -- Does 'Current' represent an INTEGER?
   -- Result is true if and only if the following two conditions hold:
   --
   -- 1. In the following BNF grammar, the value of Current can be
   -- produced by "Integer_literal", if leading and trailing
   -- separators are ignored:
   --
   -- Integer_literal = [Sign] Integer
   -- Sign            = "+" | "-"
   -- Integer         = Digit | Digit Integer
   -- Digit           = "0"|"1"|"2"|"3"|"4"|"5"|"6"|"7"|"8"|"9"
   --
   -- 2. The numerical value represented by Current is within the
   -- range that can be represented by an instance of type INTEGER.
to_integer: INTEGER
   -- Current must look like an INTEGER.
   require
      is_integer
is_double: BOOLEAN
   -- Can contents be read as a DOUBLE?
   -- Fails for numbers where the base or "10 ^ exponent" are not in
   -- the range Minimum_double ... Maximum_double. Parsing is done
   -- positive. That means if Minimum_double.abs is not equal to
   -- Maximum_double it will not work correctly. Furthermore the
   -- arithmetic package used must support the value 'inf' for a
   -- number greater than Maximum_double.
   -- Result is true if and only if the following two conditions hold:
   --
   -- 1. In the following BNF grammar, the value of Current can be
   -- produced by "Real_literal", if leading or trailing separators
   -- are ignored.
   --
   -- Real_literal    = Mantissa [Exponent_part]
   -- Exponent_part   = "E" Exponent
   --                 | "e" Exponent
```

```
      -- Exponent        = Integer_literal
      -- Mantissa        = Decimal_literal
      -- Decimal_literal = Integer_literal ["." Integer]
      -- Integer_literal = [Sign] Integer
      -- Sign            = "+" | "-"
      -- Integer         = Digit | Digit Integer
      -- Digit           = "0"|"1"|"2"|"3"|"4"|"5"|"6"|"7"|"8"|"9"
      --
      --
      -- 2. The numerical value represented by Current is within the range
      -- that can be represented by an instance of type DOUBLE.
   to_double: DOUBLE
      -- Conversion to the corresponding DOUBLE value. The string must
      -- looks like a DOUBLE (or like an INTEGER because fractionnal part
      -- is optional). For an exact definition see 'is_double'.
      -- Note that this conversion might not be exact.
      require
         represents_a_double: is_double
   is_real: BOOLEAN
      -- Can contents be read as a REAL?
   to_real: REAL
      -- Conversion to the corresponding REAL value.
      -- The string must looks like a REAL (or like an
      -- INTEGER because fractionnal part is optional).
      require
         is_integer or is_real
   is_number: BOOLEAN
      -- Can contents be read as a NUMBER?
   to_number: NUMBER
      -- Current must looks like an INTEGER.
      require
         is_number
   is_bit: BOOLEAN
      -- True when the contents is a sequence of bits (i.e., mixed
      -- characters 0 and characters 1).
      ensure
         Result = (count = occurrences('0') + occurrences('1'))
   to_hexadecimal
      -- Convert Current bit sequence into the corresponding
      -- hexadecimal notation.
      require
         is_bit
   binary_to_integer: INTEGER
      -- Assume there is enougth space in the INTEGER to store
      -- the corresponding decimal value.
      require
         is_bit;
         count <= Integer_bits
feature(s) -- Modification:
   resize (new_count: INTEGER)
      -- Resize Current. When new_count is greater than
      -- count, new positions are initialized with the
      -- default value of type CHARACTER ('%U').
      require
         new_count >= 0
      ensure
         count = new_count;
```

```
      capacity >= old capacity
clear
   -- Clear out the current STRING.
   -- Note: internal storage memory is neither released nor shrunk.
   ensure
      count = 0
wipe_out
   -- Clear out the current STRING.
   -- Note: internal storage memory is neither released nor shrunk.
   ensure
      count = 0
copy (other: STRING)
   -- Copy other onto Current.
   require
      other_not_void: other /= Void
   ensure
      count = other.count;
      is_equal: is_equal(other)
fill_with (c: CHARACTER)
   -- Replace every character with c.
   ensure
      occurrences(c) = count
replace_all (old_character, new_character: CHARACTER)
   -- Replace all occurrences of the element old_character by
   -- new_character.
   ensure
      count = old count;
      occurrences(old_character) = 0
append (s: STRING)
   -- Append a copy of 's' to Current.
   require
      s_not_void: s /= Void
append_string (s: STRING)
   -- Append a copy of 's' to Current.
   require
      s_not_void: s /= Void
prepend (other: STRING)
   -- Prepend other to Current.
   require
      other /= Void
   ensure
      Current.is_equal(old other.twin + old Current.twin)
insert_string (s: STRING; i: INTEGER)
   -- Insert s at index i, shifting characters from index i
   -- to count rightwards.
   require
      string_not_void: s /= Void;
      valid_insertion_index: 1 <= i and i <= count + 1
replace_substring (s: STRING; start_index, end_index: INTEGER)
   -- Replace the substring from start_index to end_index,
   -- inclusive, with s.
   require
      string_not_void: s /= Void;
      valid_start_index: 1 <= start_index;
      valid_end_index: end_index <= count;
      meaningful_interval: start_index <= end_index + 1
infix "+" (other: STRING): STRING
```

```
      -- Create a new STRING which is the concatenation of
      -- Current and other.
      require
         other_exists: other /= Void
      ensure
         result_count: Result.count = count + other.count
   put (c: CHARACTER; i: INTEGER)
      -- Put c at index i.
      require
         valid_index: valid_index(i)
      ensure
         item(i) = c
   swap (i1, i2: INTEGER)
      require
         valid_index(i1);
         valid_index(i2)
      ensure
         item(i1) = old item(i2);
         item(i2) = old item(i1)
   insert_character (c: CHARACTER; i: INTEGER)
      -- Inserts c at index i, shifting characters from
      -- position 'i' to count rightwards.
      require
         valid_insertion_index: 1 <= i and i <= count + 1
      ensure
         item(i) = c
   shrink (min_index, max_index: INTEGER)
      -- Keep only the slice [min_index .. max_index] or nothing
      -- when the slice is empty.
      require
         1 <= min_index;
         max_index <= count;
         min_index <= max_index + 1
      ensure
         count = max_index - min_index + 1
   remove (i: INTEGER)
      -- Remove character at position i.
      require
         valid_removal_index: valid_index(i)
      ensure
         count = old count - 1
   add_first (c: CHARACTER)
      -- Add c at first position.
      ensure
         count = 1 + old count;
         item(1) = c
   precede (c: CHARACTER)
      -- Add c at first position.
      ensure
         count = 1 + old count;
         item(1) = c
   add_last (c: CHARACTER)
      -- Append c to string.
      ensure
         count = 1 + old count;
         item(count) = c
   append_character (c: CHARACTER)
```

```
      -- Append c to string.
      ensure
         count = 1 + old count;
         item(count) = c
   extend (c: CHARACTER)
      -- Append c to string.
      ensure
         count = 1 + old count;
         item(count) = c
   to_lower
      -- Convert all characters to lower case.
   to_upper
      -- Convert all characters to upper case.
   as_lower: STRING
      -- New object with all letters in lower case.
   as_upper: STRING
      -- New object with all letters in upper case.
   keep_head (n: INTEGER)
      -- Remove all characters except for the first n.
      -- Do nothing if n ¿= count.
      require
         n_non_negative: n >= 0
      ensure
         count = n.min(old count)
   keep_tail (n: INTEGER)
      -- Remove all characters except for the last n.
      -- Do nothing if n ¿= count.
      require
         n_non_negative: n >= 0
      ensure
         count = n.min(old count)
   remove_head (n: INTEGER)
      -- Remove n first characters.
      -- If n ¿= count, remove all.
      require
         n_non_negative: n >= 0
      ensure
         count = (0).max(old count - n)
   remove_first (n: INTEGER)
      -- Remove n first characters.
      -- If n ¿= count, remove all.
      require
         n_non_negative: n >= 0
      ensure
         count = (0).max(old count - n)
   remove_tail (n: INTEGER)
      -- Remove n last characters.
      -- If n ¿= count, remove all.
      require
         n_non_negative: n >= 0
      ensure
         count = (0).max(old count - n)
   remove_last (n: INTEGER)
      -- Remove n last characters.
      -- If n ¿= count, remove all.
      require
         n_non_negative: n >= 0
```

```
      ensure
         count = (0).max(old count - n)
   remove_substring (start_index, end_index: INTEGER)
      -- Remove all characters from strt_index to end_index inclusive.
      require
         valid_start_index: 1 <= start_index;
         valid_end_index: end_index <= count;
         meaningful_interval: start_index <= end_index + 1
      ensure
         count = old count - end_index - start_index + 1
   remove_between (start_index, end_index: INTEGER)
      -- Remove all characters from strt_index to end_index inclusive.
      require
         valid_start_index: 1 <= start_index;
         valid_end_index: end_index <= count;
         meaningful_interval: start_index <= end_index + 1
      ensure
         count = old count - end_index - start_index + 1
   remove_suffix (s: STRING)
      -- Remove the suffix s of current string.
      require
         has_suffix(s)
      ensure
         (old Current.twin).is_equal(Current + old s.twin)
   remove_prefix (s: STRING)
      -- Remove the prefix s of current string.
      require
         has_prefix(s)
      ensure
         (old Current.twin).is_equal(old s.twin + Current)
   left_adjust
      -- Remove leading blanks.
      ensure
         stripped: is_empty or else item(1) /= ' '
   right_adjust
      -- Remove trailing blanks.
      ensure
         stripped: is_empty or else item(count) /= ' '
feature(s) -- Printing:
   out_in_tagged_out_memory
      -- Append terse printable represention of current object
      -- in tagged_out_memory.
   fill_tagged_out_memory
      -- Append a viewable information in tagged_out_memory in
      -- order to affect the behavior of out, tagged_out, etc.
feature(s) -- Other features:
   first: CHARACTER
      -- Access to the very first character.
      require
         not is_empty
      ensure
         definition: Result = item(1)
   last: CHARACTER
      -- Access to the very last character.
      require
         not is_empty
      ensure
```

```
      definition: Result = item(count)
  substring (start_index, end_index: INTEGER): STRING
    -- New string consisting of items [start_index.. end_index].
    require
      valid_start_index: 1 <= start_index;
      valid_end_index: end_index <= count;
      meaningful_interval: start_index <= end_index + 1
    ensure
      substring_count: Result.count = end_index - start_index + 1
  extend_multiple (c: CHARACTER; n: INTEGER)
    -- Extend Current with n times character c.
    require
      n >= 0
    ensure
      count = n + old count
  precede_multiple (c: CHARACTER; n: INTEGER)
    -- Prepend n times character c to Current.
    require
      n >= 0
    ensure
      count = n + old count
  extend_to_count (c: CHARACTER; needed_count: INTEGER)
    -- Extend Current with c until needed_count is reached.
    -- Do nothing if needed_count is already greater or equal
    -- to count.
    require
      needed_count >= 0
    ensure
      count >= needed_count
  precede_to_count (c: CHARACTER; needed_count: INTEGER)
    -- Prepend c to Current until needed_count is reached.
    -- Do nothing if needed_count is already greater or equal
    -- to count.
    require
      needed_count >= 0
    ensure
      count >= needed_count
  reverse
    -- Reverse the string.
  remove_all_occurrences (ch: CHARACTER)
    -- Remove all occurrences of ch.
    ensure
      count = old count - old occurrences(ch)
  substring_index (other: STRING; start_index: INTEGER): INTEGER
    -- Position of first occurrence of other at or after start;
    -- 0 if none.
    require
      other_not_void: other /= Void;
      valid_start_index: start_index >= 1 and start_index <= count + 1
  first_substring_index (other: STRING): INTEGER
    -- Position of first occurrence of other at or after 1;
    -- 0 if none.
    require
      other_not_void: other /= Void
    ensure
      definition: Result = substring_index(other,1)
feature(s) -- Splitting a STRING:
```

```
   split: ARRAY[STRING]
      -- Split the string into an array of words. Uses is_separator of
      -- CHARACTER to find words. Gives Void or a non empty array.
      ensure
         Result /= Void implies not Result.is_empty
   split_in (words: COLLECTION[STRING])
      -- Same jobs as split but result is appended in words.
      require
         words /= Void
      ensure
         words.count >= old words.count
feature(s) -- Other features:
   extend_unless (ch: CHARACTER)
      -- Extend Current (using extend) with ch unless ch is
      -- already the last character.
      ensure
         last = ch;
         count >= old count
   get_new_iterator: ITERATOR[CHARACTER]
feature(s) -- Interfacing with C string:
   to_external: POINTER
      -- Gives C access to the internal storage (may be dangerous).
      -- To be compatible with C, a null character is added at the end
      -- of the internal storage. This extra null character is not
      -- part of the Eiffel STRING.
      ensure
         count = old count;
         Result.is_not_null
   from_external (p: POINTER)
      -- Internal storage is set using p (may be dangerous because
      -- the external C string p is not duplicated).
      -- Assume p has a null character at the end in order to
      -- compute the Eiffel count. This extra null character
      -- is not part of the Eiffel STRING.
      -- Also consider from_external_copy to choose the most appropriate.
      require
         p.is_not_null
      ensure
         capacity = count + 1;
         p = to_external
   from_external_copy (p: POINTER)
      -- Internal storage is set using a copy of p.
      -- Assume p has a null character at the end in order to
      -- compute the Eiffel count. This extra null character
      -- is not part of the Eiffel STRING.
      -- Also consider from_external to choose the most appropriate.
      require
         p.is_not_null
   from_c (p: POINTER)
      -- Internal storage is set using a copy of p.
      -- Assume p has a null character at the end in order to
      -- compute the Eiffel count. This extra null character
      -- is not part of the Eiffel STRING.
      -- Also consider from_external to choose the most appropriate.
      require
         p.is_not_null
invariant
```

```
   0 <= count;
   count <= capacity;
   capacity > 0 implies storage.is_not_null;
end of STRING
```

## 7.3 Classe ARRAY

La classe ARRAY correspond à la notion de vecteur ; les instances de cette classe sont des tableaux à une seule dimension (vue 62). Ces tableaux sont extensibles (agrandissement et/ou rétrécissement) et l'indexation pour accéder aux éléments est quelconque (l'indice du premier élément n'est pas forcément 1).

Lors de la déclaration d'un tableau, il faut indiquer le type des éléments que l'on souhaite ranger dans le tableau. Comme pour toutes les classes ordinaires, la déclaration d'une variable de type ARRAY[INTEGER] ne provoque que la réservation d'une place mémoire pour un pointeur sur le futur tableau que l'on souhaite manipuler. Pour obtenir effectivement le tableau, il faut comme d'habitude l'instancier. Notons que l'on doit préciser au moment de l'instanciation la tranche des index souhaités (bornes incluses).

Pour le contenu du tableau, la distinction habituelle entre les types de base et les vraies classes s'applique aussi. Par exemple, si on instancie un tableau de quatre points (de la classe POINT), aucun point de la classe POINT n'est créé. Seule la place pour quatre pointeurs est allouée. Inversement, si on instancie un tableau de quatre entiers (de la classe INTEGER), la place pour les quatres entiers est allouée.

L'interface de la classe ARRAY possède de nombreux points communs avec l'interface de la classe STRING. En particulier, les routines d'accès en lecture et en écriture ont le même profil. Comme les chaînes de la classe STRING, les tableaux de la classe ARRAY sont extensibles (vue 63), et comme dans la classe STRING, il faut suivre plusieurs pointeurs pour atteindre un élément du tableau.

Une notation spéciale permet d'instancier et d'initialiser de manière plus concise un tableau dont les indices commencent à l'index 1. Cette notation est présentée sur la vue 63. Du point de vue du code machine généré, c'est exactement la même chose qu'une instanciation d'un nouveau tableau suivi d'une suite d'appels de la procédure `put` (vue 64).

La bibliothèque de classes de SmartEiffel comporte également deux autres catégories de vecteurs (tableaux) :

- les vecteurs de la classe FAST_ARRAY qui ont globalement la même interface que ARRAY sachant que l'index du premier élément est fixé par la constante `0` ; ces tableaux également redimensionables permettent parfois d'obtenir de meilleures performances à l'exécution ;
- les tableaux primitifs de la classe NATIVE_ARRAY ne sont pas redimensionables et l'index du premier élément est également fixé à `0` ; l'usage de ces tableaux primitifs permet d'obtenir les mêmes performances qu'avec les tableaux (très primitifs eux aussi) du langage C ; l'usage de ces tableaux est délicate et est habituellement réservée aux experts (voir par exemple l'utilisation de la classe NATIVE_ARRAY pour l'implantation de la classe STRING sur la vue 60 et 61).

Enfin, sans trop anticiper car nous aurons l'occasion d'y revenir, la bibliothèque de SmartEiffel comporte également d'autres structures de données permettant la manipulation de collections d'objets :

- la classe LINKED_LIST pour les listes simplement chaînées,
- la classe TWO_WAY_LINKED_LIST pour les listes doublement chaînées,
- la classe RING_ARRAY pour les files d'attentes,
- la classe SET pour les ensembles, sachant qu'il existe une implantation à base de hachage nommée HASHED_SET et une seconde implantation à base d'arbres binaires AVL nommée AVL_SET,

– la classe DICTIONARY pour les tables ; sachant qu'il existe une implantation à base de hachage nommée HASHED_DICTIONARY et une seconde implantation à base d'arbres binaires AVL nommée AVL_DICTIONARY,
– etc.

**Exercice 13** Est-il possible d'écrire de façon plus concise le texte Eiffel de la vue 62 ?

Comme la classe STRING, la classe ARRAY possède une version spécifique de la procédure `copy`. Le choix effectué pour la classe ARRAY est cohérent : en cas de copie d'un tableau, les éléments pointés ne sont pas dupliqués. Par exemple, si l'on effectue la copie d'un tableau de points, aucune nouvelle instance de la classe POINT n'est instanciée. Les mêmes instances sont pointées par les deux tableaux. Bien entendu, si on souhaite dupliquer aussi les points, il faut utiliser `deep_twin` à la place de `copy`. Attention au gaspillage ! Choisissez judicieusement et justifiez la formule la mieux adaptée.

**Exercice 14** Comment faut-il définir la classe C afin que toutes les instances de la classe C puissent accéder à un unique et même tableau d'entiers ? Ce tableau d'entiers ne doit être accessible qu'aux instances de la classe C.

## Client de la classe ARRAY

Vue 62

```
  t1 : ARRAY[POINT]
  pt : POINT
...
...
  --  Instanciation d'un tableau de trois
  --  pointeurs  de points :
  create t1.make(2,4)
  create pt.make(1,1)
  t1.put(pt,2)
  t1.put(pt,3)
  pt := t1.item(4)
```

## ARRAY : tableaux extensibles

```
-- Étend si besoin le tableau, puis effectue
-- l'équivalent d'un put:
t1.force(pt,5)
```

Vue 63

## Instanciation

```
  t2 : ARRAY[CHARACTER]
...
  t2 := <<'a','b','c'>>
  vrai1 := ((t2.first) = 'a') -- ← True
  vrai2 := ((t2.upper) = 3) -- ← True
```

```
tabPoint : ARRAY[POINT]
pt : POINT
tr : TRIANGLE
```

---

```
tabPoint := <<pt,tr.p1,tr.p2,Void>>
```

Vue 64

$\Leftrightarrow$

```
create tabPoint.make(1,4)
tabPoint.put(pt,1)
tabPoint.put(tr.p1,2)
tabPoint.put(tr.p2,3)
tabPoint.put(Void,4)
```

## 7.4 Interface de la classe ARRAY

```
class interface ARRAY[E]
   --
   -- General purpose resizable ARRAYs.
   --
creation
   make (min_index, max_index: INTEGER)
      -- Prepare the array to hold values for indexes in range
      -- [min_index .. max_index]. Set all values to default.
      -- When max_index = min_index - 1, the array is_empty.
      require
         valid_bounds: min_index <= max_index + 1
      ensure
         lower_set: lower = min_index;
         upper_set: upper = max_index;
         items_set: all_default
   with_capacity (needed_capacity, low: INTEGER)
      -- Create an empty array with capacity initialized
      -- at least to needed_capacity and lower set to low.
      require
         needed_capacity >= 0
      ensure
         is_empty;
         needed_capacity <= capacity;
         lower = low
   from_collection (model: COLLECTION[E])
      -- Initialize the current object with the contents of model.
      require
         model /= Void
      ensure
         lower = model.lower;
         upper = model.upper;
         count = model.count
feature(s) -- Indexing:
   lower: INTEGER
      -- Lower index bound.
   upper: INTEGER
      -- Upper index bound.
   valid_index (index: INTEGER): BOOLEAN
      -- True when index is valid (ie. inside actual
      -- bounds of the collection).
      ensure
         Result = (lower <= index and then index <= upper)
feature(s) -- Counting:
   count: INTEGER
      -- Number of available indices.
      ensure
         Result = upper - lower + 1
   is_empty: BOOLEAN
      -- Is collection empty ?
      ensure
         Result = (count = 0)
feature(s) -- Accessing:
   item (i: INTEGER): E
      -- Item at the corresponding index i.
      require
         valid_index(i)
```

```
   first: E
      -- The very first item.
      require
         count >= 1
      ensure
         Result = item(lower)
   last: E
      -- The last item.
      require
         not is_empty
      ensure
         Result = item(upper)
feature(s) -- Writing:
   put (element: E; i: INTEGER)
      -- Make element the item at index i.
      require
         valid_index(i)
      ensure
         item(i) = element;
         count = old count
   swap (i1, i2: INTEGER)
      -- Swap item at index i1 with item at index i2.
      require
         valid_index(i1);
         valid_index(i2)
      ensure
         item(i1) = old item(i2);
         item(i2) = old item(i1);
         count = old count
   set_all_with (v: E)
      -- Set all items with value v.
      ensure
         count = old count
   set_slice_with (v: E; lower_index, upper_index: INTEGER)
      -- Set all items in range [lower_index .. upper_index] with v.
      require
         lower_index <= upper_index;
         valid_index(lower_index);
         valid_index(upper_index)
      ensure
         count = old count
   clear_all
      -- Set every item to its default value.
      -- The count is not affected (see also clear).
      ensure
         stable_upper: upper = old upper;
         stable_lower: lower = old lower;
         all_default
feature(s) -- Adding:
   add_first (element: E)
      -- Add a new item in first position : count is increased by
      -- one and all other items are shifted right.
      ensure
         first = element;
         count = 1 + old count;
         lower = old lower;
         upper = 1 + old upper
```

```
add_last (element: E)
   -- Add a new item at the end : count is increased by one.
   ensure
      last = element;
      count = 1 + old count;
      lower = old lower;
      upper = 1 + old upper
add (element: E; index: INTEGER)
   -- Add a new element at rank index : count is increased
   -- by one and range [index .. upper] is shifted right
   -- by one position.
   require
      index.in_range(lower,upper + 1)
   ensure
      item(index) = element;
      count = 1 + old count;
      upper = 1 + old upper
append_collection (other: COLLECTION[E])
   -- Append other to Current.
   require
      other /= Void
   ensure
      count = other.count + old count
feature(s) -- Modification:
force (element: E; index: INTEGER)
   -- Make element the item at index, enlarging the collection if
   -- necessary (new bounds except index are initialized with
   -- default values).
   require
      true
   require else
      index >= lower
   ensure
      lower = index.min(old lower);
      upper = index.max(old upper);
      item(index) = element
copy (other: ARRAY[E])
   -- Reinitialize by copying all the items of other.
   require
      other_not_void: other /= Void
   ensure
      is_equal: is_equal(other)
from_collection (model: COLLECTION[E])
   -- Initialize the current object with the contents of model.
   require
      model /= Void
   ensure
      lower = model.lower;
      upper = model.upper;
      count = model.count
feature(s) -- Removing:
remove_first
   -- Remove the first element of the collection.
   require
      not is_empty
   ensure
      upper = old upper;
```

```
         count = old count - 1;
         lower = old lower + 1 xor upper = old upper - 1
   remove (index: INTEGER)
      -- Remove the item at position index. Followings items
      -- are shifted left by one position.
      require
         valid_index(index)
      ensure
         count = old count - 1;
         upper = old upper - 1
   remove_last
      -- Remove the last item.
      require
         not is_empty
      ensure
         count = old count - 1;
         upper = old upper - 1
   clear
      -- Discard all items in order to make it is_empty.
      -- See also clear_all.
      ensure
         capacity = old capacity;
         is_empty
feature(s) -- Looking and Searching:
   has (x: E): BOOLEAN
      -- Look for x using equal for comparison.
      -- Also consider fast_has to choose the most appropriate.
   fast_has (x: E): BOOLEAN
      -- Look for x using basic = for comparison.
      -- Also consider has to choose the most appropriate.
   index_of (element: E): INTEGER
      -- Give the index of the first occurrence of element using
      -- is_equal for comparison.
      -- Answer upper + 1 when element is not inside.
      -- Also consider fast_index_of to choose the most appropriate.
      ensure
         lower <= Result;
         Result <= upper + 1;
         Result <= upper implies equal(element,item(Result))
   fast_index_of (element: E): INTEGER
      -- Give the index of the first occurrence of element using
      -- basic = for comparison.
      -- Answer upper + 1 when element is not inside.
      -- Also consider index_of to choose the most appropriate.
      ensure
         lower <= Result;
         Result <= upper + 1;
         Result <= upper implies element = item(Result)
feature(s) -- Looking and comparison:
   is_equal (other: ARRAY[E]): BOOLEAN
      -- Do both collections have the same lower, upper, and
      -- items?
      -- The basic = is used for comparison of items.
      -- See also is_equal_map.
      require
         other_not_void: other /= Void
      ensure
```

```
            Result implies lower = other.lower and upper = other.upper;
            consistent: standard_is_equal(other) implies Result;
            symmetric: Result implies other.is_equal(Current)
    is_equal_map (other: ARRAY[E]): BOOLEAN
        -- Do both collections have the same lower, upper, and
        -- items?
        -- Feature is_equal is used for comparison of items.
        -- See also is_equal.
        ensure
            Result implies lower = other.lower and upper = other.upper
    all_default: BOOLEAN
        -- Do all items have their type's default value?
    same_items (other: COLLECTION[E]): BOOLEAN
        -- Do both collections have the same items? The basic = is used
        -- for comparison of items and indices are not considered (for
        -- example this routine may yeld true with Current indexed in
        -- range [1..2] and other indexed in range [2..3]).
        require
            other /= Void
        ensure
            Result implies count = other.count
    occurrences (element: E): INTEGER
        -- Number of occurrences of element using equal for comparison.
        -- Also consider fast_occurrences to choose the most appropriate.
        ensure
            Result >= 0
    fast_occurrences (element: E): INTEGER
        -- Number of occurrences of element using basic = for comparison.
        -- Also consider occurrences to choose the most appropriate.
        ensure
            Result >= 0
feature(s) -- Printing:
    fill_tagged_out_memory
        -- Append a viewable information in tagged_out_memory in
        -- order to affect the behavior of out, tagged_out, etc.
feature(s) -- Agents based features:
    do_all (action: ROUTINE[ANY,TUPLE[E]])
        -- Apply action to every item of Current.
    for_all (test: PREDICATE[ANY,TUPLE[E]]): BOOLEAN
        -- Do all items satisfy test?
    exists (test: PREDICATE[ANY,TUPLE[E]]): BOOLEAN
        -- Does at least one item satisfy test?
feature(s) -- Other features:
    get_new_iterator: ITERATOR[E]
    replace_all (old_value, new_value: E)
        -- Replace all occurrences of the element old_value by new_value
        -- using equal for comparison.
        -- See also fast_replace_all to choose the apropriate one.
        ensure
            count = old count;
            occurrences(old_value) = 0
    fast_replace_all (old_value, new_value: E)
        -- Replace all occurrences of the element old_value by new_value
        -- using operator = for comparison.
        -- See also replace_all to choose the apropriate one.
        ensure
            count = old count;
```

```
            fast_occurrences(old_value) = 0
    move (lower_index, upper_index, distance: INTEGER)
        -- Move range lower_index .. upper_index by distance
        -- positions. Negative distance moves towards lower indices.
        -- Free places get default values.
        require
            lower_index <= upper_index;
            valid_index(lower_index);
            valid_index(lower_index + distance);
            valid_index(upper_index);
            valid_index(upper_index + distance)
        ensure
            count = old count
    slice (min, max: INTEGER): ARRAY[E]
        -- New collection consisting of items at indexes in [min..max].
        -- Result has the same dynamic type as Current.
        -- The lower index of the Result is the same as lower.
        require
            lower <= min;
            max <= upper;
            min <= max + 1
        ensure
            same_type(Result);
            Result.count = max - min + 1;
            Result.lower = lower
    reverse
        -- Reverse the order of the elements.
        ensure
            count = old count
feature(s)
    capacity: INTEGER
        -- Internal storage capacity in number of item.
    subarray (min, max: INTEGER): ARRAY[E]
        -- New collection consisting of items at indexes in [min .. max].
        -- Result has the same dynamic type as Current.
        -- See also slice.
        require
            lower <= min;
            max <= upper;
            min <= max + 1
        ensure
            Result.lower = min;
            same_type(Result);
            Result.count = max - min + 1;
            Result.lower = min or Result.lower = 0
feature(s) -- Interfacing with C:
    to_external: POINTER
        -- Gives C access into the internal storage of the ARRAY.
        -- Result is pointing the element at index lower.
        --
        -- NOTE: do not free/realloc the Result. Resizing of the array
        --       can makes this pointer invalid.
        require
            not is_empty
        ensure
            Result.is_not_null
feature(s) -- Modification:
```

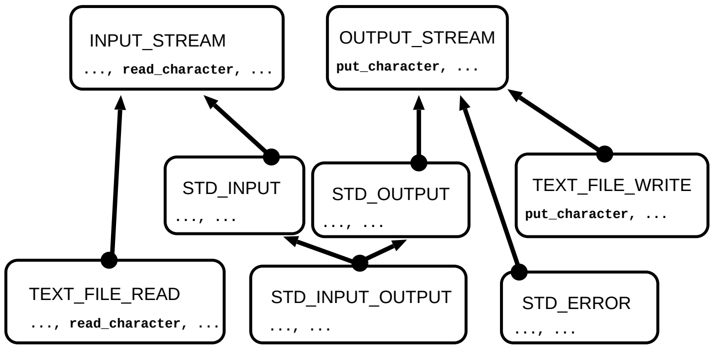
```
   resize (min_index, max_index: INTEGER)
      -- Resize to bounds min_index and max_index. Do not lose any
      -- item whose index is in both [lower .. upper] and
      -- [min_index .. max_index]. New positions if any are
      -- initialized with the appropriate default value.
      require
         min_index <= max_index + 1
      ensure
         lower = min_index;
         upper = max_index
   reindex (new_lower: INTEGER)
      -- Change indexing to take in account the expected new_lower
      -- index. The upper index is translated accordingly.
      ensure
         lower = new_lower;
         count = old count
invariant
   valid_bounds: lower <= upper + 1;
   capacity >= upper - lower + 1;
   capacity > 0 implies storage.is_not_null;
end of ARRAY[E]
```

# 8 Entrées sorties simples

Les classes STD_INPUT, STD_OUTPUT, STD_ERROR et STD_INPUT_OUTPUT permettent d'effectuer des entrées sorties simples, sur les fichiers d'entrées/sorties standards (graphe d'héritage de la vue 65). Par défaut avec SmartEiffel, les variables `std_input`, `std_output`, `std_error` et `io` sont prédéfinies et référencent automatiquement les instances correspondant aux classes précédemment citées.

**Exercice 15** Ajouter la fonction `distance` dans la classe POINT. Cette fonction calcule la distance entre le point receveur et un deuxième point passé en argument.

Vue 65




## Entrées sorties

Vue 66

```
io.put_string("Entrez un nombre : ")
io.read_real
r := io.last_real

io.put_string("Entrez une seule lettre : ")
io.read_character
c := io.last_character

io.put_string("Entrez un mot : %N")
io.read_word
s := io.last_string
```

Vue 67

```
...
from
   i := tab.lower
until
   i > tab.upper
loop
   io.put_string("Entrez une ligne : %N")
   io.read_string
   tab.put(io.last_string.twin,i)
--                       *****
   i := i + 1
end
...
```

**cf. code Eiffel de** `read_string` **et** `last_string`

# 9 Les assertions

Les mécanismes d'assertions du langage Eiffel permettent de documenter, et de faciliter la mise au point des programmes. Ces mécanismes permettent d'inclure dans le programme Eiffel une partie du travail fait au moment des spécifications (invariant, pré-condition, post-condition et invariant d'itération).

## 9.1 Invariant, pré- et post-condition

En théorie, si les pré-conditions d'une routine `r` d'une classe C sont satisfaites lorsque la routine est appelée, la classe garantit de délivrer un état où les post-conditions sont satisfaites. Les assertions constituent une sorte de *contrat* entre le client d'une classe et la classe elle-même, le fournisseur. On parle dans ce cas de *programmation par contrat.*

Les vues 69, 70, 71 et 72 donnent un modèle d'utilisation des assertions sur l'exemple classique de la classe PILE_FIXE. Cette classe modélise la notion de pile d'entiers de taille fixe.

Notons sur la vue 71 l'utilisation possible du mot clef **old** (uniquement possible dans une clause **ensure**). Sur la même vue, il faut remarquer que la deuxième assertion est incompréhensible par un client (utilisation de primitives non exportées). Il faut, autant que possible éviter d'utiliser autre chose que des primitives publiques (de consultation) dans les assertions. Et pire encore, il ne faudrait jamais utiliser de *modificateurs* dans une assertion : un programme «au point» **doit** aussi fonctionner sans le code des assertions.

**Exercice 16** Écrire la classe PILE qui modélise la notion de pile d'entiers non bornée.

Les invariants de classe expriment les propriétés globales d'une instance qui doivent être préservées par toute routine de la classe. Un invariant (vue 72) ne peut porter que sur l'état d'un objet (défini par les valeurs de ses attributs).

Les pré-conditions (`require`) et les post-conditions (`ensure`) sont prises en compte dans l'ordre de lecture du texte source Eiffel.

**Exercice 17** Écrire une nouvelle version de la classe POINT en :
- mémorisant les coordonnées polaires au lieu des coordonnées cartésiennes,
- ajoutant toutes les assertions qui conviennent,
- et en faisant attention de ne pas imposer de modifications aux clients existants

**Exercice 18** Quel est votre avis sur le fragment de code suivant ? erreur à la compilation ? erreur à l'exécution ? défaillance (temporaire) de l'auteur du programme ?

```
...
distance(p2 : POINT)  is
    require
        Current /= Void
    do
    ...
```

## 9.2 Vérification ponctuelle

Il est également possible d'insérer des vérification ponctuelles à l'intérieur même d'une routine en utilisant une clause **check** ou une clause **debug**. Comme une clause **require**, la clause **check** contient une suite d'expressions booléennes à vérifier (vue 74).

La clause **debug** contient une suite d'instructions pouvant par exemple servir à placer des mouchards (vue 75). Bien entendu, il est important de bien faire attention aux effets de bord de façon à ne pas trop perturber le fonctionnement du programme. En effet, comme toutes les assertions, le mode de compilation conditionne la prise en compte (l'exécution) de ces instructions.

## 9.3 Assertion pour les itérations

La vue 76 donne le canevas syntaxique d'une itération et de ses assertions (clause `variant` et `invariant`). Les vues suivantes (78 et 79) donnent un exemple d'utilisation des assertions avec l'algorithme connu du `pgcd` (Plus Grand Commun Diviseur). L'invariant d'itération doit être respecté à chaque entrée dans le corps de l'itération (exactement comme dans le cas des preuves de programme). La clause variant concerne la preuve de terminaison de l'itération. C'est une expression entière, positive ou nulle qui doit décroître strictement après chaque passage dans l'itération.

## 9.4 Mise en œuvre

Sans toucher au texte source Eiffel d'une application (c'est un aspect essentiel), il est possible de décider quelles sont les assertions que l'on souhaite ou non effectivement vérifier lors de l'exécution. La commande de compilation `compile` permet de sélectionner les assertions que l'on souhaite vérifier (vue 77).

A l'exécution, en mode non optimisé, l'invariant est vérifié après chaque instanciation de la classe et après l'exécution de chaque routine de la classe.

## 9.5 Limites du mécanisme

Par rapport à l'approche purement théorique, la mise en œuvre des assertions en Eiffel possède ses propres limites. Dans le cas d'assertions récursives, afin de ne pas boucler indéfiniment, le système de gestion des assertions à l'exécution est libre de faire ou non certaines vérifications. Exemple : l'invariant du `pgcd` (vues 78 et 79).

Le code exécutable des assertions se déclenche à un instant bien précis alors que dans l'approche théorique, les assertions doivent être vérifiées à chaque instant. Ce faisant, il est possible d'écrire un programme Eiffel tel qu'on aboutisse à une situation aberrante : tous les mécanisme d'assertions sont en fonction, une assertion est violée et aucun message d'erreur ne s'affiche ! Un exemple (pas si facile que ça) est donné sur les vues 80, 81 et 82.

### Assertions Eiffel

*Valider, documenter et faciliter la mise au point d'une classe.*
*Contrat client/fournisseur.*

Vue 68

**invariant** *propriétés d'une instance*

**pré-conditions** `require` *contraintes sous lesquelles une routine fonctionne correctement*

**post-conditions** `ensure` *propriétes de l'état résultant de l'exécution d'une routine*

Vue 69

```
class PILE_FIXE -- Pile d'entiers de taille limitée.
creation {ANY}
  make
feature {NONE} -- Attributs privées :
  table : ARRAY[INTEGER]
  nb_elements : INTEGER
feature {ANY} -- Primitives de consultation :
  vide : BOOLEAN is
      do
        Result := (nb_elements = 0)
      end -- vide
  pleine : BOOLEAN is
      do
        Result := (nb_elements = table.count)
      end -- pleine
```

Vue 70

```
  sommet : INTEGER is
      require
        not Current.vide
      do
        Result := table.item(nb_elements)
      end -- sommet
feature {ANY} -- Modifications :
  empiler(val : INTEGER) is
      require
        not Current.pleine
      do
        nb_elements := nb_elements + 1
        table.put(val,nb_elements)
      ensure
        not Current.vide
      end -- empiler
```

Vue 71

```
  depiler  is
      require
        not vide
      do
        nb_elements:= nb_elements - 1
      ensure
        nb_elements + 1 = old nb_elements
        --
        nb_elements /= table.count
      end -- depiler
```

Vue 72

```
  make(tailleMaxi : INTEGER)  is
      require
        tailleMaxi > 1
      do
        create table.make(1, tailleMaxi)
      ensure
        Current.vide
      end -- make
invariant
  nb_elements >= 0
  nb_elements <= table.count
end -- class pile_fixe
```

## Interface de la classe PILE_FIXE

Vue 73

```
class PILE_FIXE --  Pile d'entiers de taille limitée.
feature {ANY} --  Primitives de consultation :
  vide : BOOLEAN  is
  pleine : BOOLEAN  is
  sommet : INTEGER   is
      require
        not  Current.vide
feature {ANY} --  Modifications :
  empiler(val : INTEGER)  is
      require
        not  Current.pleine
      ensure
        not  Current.vide
  ...
```

## check : vérifications ponctuelles

*Des assertions au cœur d'une routine*

Vue 74

```
local
    p1, p2 : POINT
do
    create p1.make(0,0)
    p2 := p1.twin
    p1.translater(+2,+4)
    p1.translater(-2,-4)
     check
          p1.is_equal(p2)
          p1.distance(p2) = 0
     end
```

## debug : placer un mouchard

Vue 75

```
local
    i: INTEGER
do
    ...
    debug
        if i < 0 then
            io.put_string("Attention i < 0")
        end
    end
    ...
```

## Assertions dans une itération

Vue 76

```
...
    from
    invariant
        expressions-booléennes
    variant
        expression-entière
    until
        ...
    loop
        ...
    end
...
```

## Options de compilation

Vue 77

```
compile
[-debug_check|-all_check|-loop_check|
 -invariant_check|-ensure_check|
 -require_check|-no_check|-boost]

[-cc][-no_strip][-c_code]
[-o output_name]
<ROOT_CLASS> start_procedure
[*.c] [*.o] [-l*]
```

http://SmartEiffel.loria.fr

Vue 78

```
gcd(other: INTEGER): INTEGER is
      -- Great Common Divisor of 'Current' and 'other'.
   require
      Current > 0; other > 0
   local
      the_other: INTEGER
   do
      from
         Result := Current
         the_other := other
      invariant
         Result > 0
         the_other > 0
         Result.gcd(the_other) = Current.gcd(other)
```

Vue 79

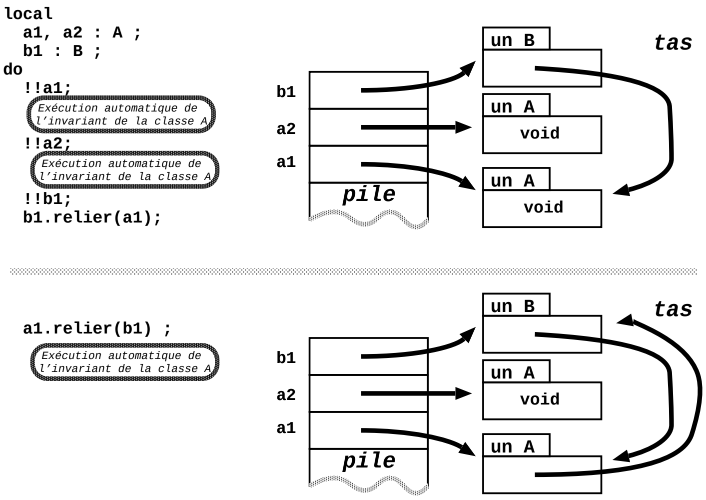
```
        variant
           Result.max(the_other)
        until
           Result = the_other
        loop
           if Result > the_other then
              Result := Result - the_other
           else
              the_other := the_other - Result
           end
        end
     ensure
        Result = other.gcd(Current)
     end
```

## Limite des assertions

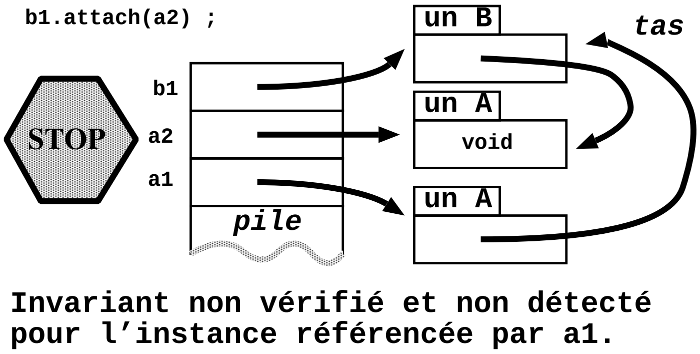
Vue 80

```
class A
feature {ANY}
  aller : B

  relier (b1 : B) is
    do
      aller := b1
    end -- relier

invariant
  aller = Void or else
  (aller.retour = Current)
end -- class A
```

```
class B
feature {ANY}
  retour : A

  relier (a1 : A) is
    do
      retour := a1
    end -- relier
end -- class B
```


local
a1, a2 : A ;
b1 : B ;
do
!!a1;
Exécution automatique de l'invariant de la classe A
!!a2;
Exécution automatique de l'invariant de la classe A
!!b1;
b1.relier(a1);
b1
a2
a1
pile
un B
un A
void
un A
void
tas
a1.relier(b1) ;
Exécution automatique de l'invariant de la classe A
b1
a2
a1
pile
un B
un A
void
un A
tas

Vue 81


b1.attach(a2) ;
STOP
b1
a2
a1
pile
un B
un A
void
un A
tas
Invariant non vérifié et non détecté
pour l'instance référencée par a1.

Vue 82

# 10 Les outils

Les outils disponibles actuellement sont les commandes `compile`, `compile_to_c`, `finder`, `short`, `class_check` et `pretty` (vue 84). Si vous disposez de Java sur votre ordinateur personnel, vous pouvez aussi utiliser les commandes `compile_to_jvm` ainsi que `print_jvm_class`.

## 10.1 Le mode emacs

Il existe plusieurs modes `emacs` disponibles soit dans la distribution de SmartEiffel (cf. `SmartEiffel/misc/eiffel.el`), soit avec `xemacs` sous Linux, soit télé-chargeables sur internet.

Voici la liste des commandes spécifiques du mode Eiffel sous emacs (ESC ? b CTRL-x o) :

```
Local Bindings:

key                binding
---                -------

RET             eiffel-return
TAB             eiffel-indent-line

C-c C-e         class-compile
C-c t           eiffel-line-type
C-c e           eiffel-elsif
C-c w           eiffel-when
C-c n           eiffel-inspect
C-c l           eiffel-loop
C-c i           eiffel-if
C-c a           eiffel-attribute
C-c p           eiffel-procedure
C-c f           eiffel-function
C-c c           eiffel-class

ESC ;           eiffel-comment
```

## 10.2 Les commandes du débogueur

Pour exécuter un programme avec `sedb`, le débogueur de SmartEiffel, il suffit de recompiler son programme en ajoutant l'option `-sedb` puis de relancer l'exécution comme d'habitude. L'exécution sous sedb commence toujours avec un écran donnant la liste des commandes disponibles (vue 85). Le débogueur `sedb` attend votre première commande. Ces commandes permettent de suivre l'exécution au pas par pas d'un programme en visualisant la pile ainsi que le texte source du programme Eiffel lors de l'exécution.

En cas d'erreur, le débogueur s'arrête automatiquement dans la contexte précis de l'erreur (violation d'une assertion par exemple). Il est possible de définir des points d'arrêt sur la base de plusieurs conditions et aussi de placer explicitement des points d'arrêt directement dans le code source Eiffel. Il est également possible d'interrompre l'exécution d'un programme qui *boucle* ou encore d'effectuer des mesures concernant le nombre d'appels d'une routine particulière. Le débogueur fait habituellement l'objet d'une présentation interactive en cours, sur écran projeté, à ne pas manquer...

## short : donne l'interface

Vue 83

```
class interface TRIANGLE
creation {ANY}
   make
feature {ANY}
   p1, p2, p3: POINT
   make(initP1, initP2, initP3: POINT)
   translater (dx, dy: REAL)
   ...
end interface -- class TRIANGLE
```

## Les outils

Vue 84

**emacs / xemacs / mode Eiffel**

**compile -sedb**

**compile_to_c**

***pretty***

***short***

***class_check***

***finder***

Vue 85

```
SmartEiffel debugger help (list of commands):
 ?    : display this help message
 s    : single step, stepping into routine calls
 n    : single step, without stepping into routine calls
 f    : continue execution until the current routine finishes
 .    : display the current execution point
 u    : display the caller point (go up in the stack)
 d    : display the callee point (go down in the stack)
 S    : display the entire stack (all frames)
 b    : set a new breakpoint at the current execution point
 B    : display the entire breakpoint list
 -[#] : delete a breakpoint
 c    : continue execution until the next breakpoint
 G    : run the garbage collector now
 T    : switch to the "trace.se" file mode
 q    : quit the debugger
 H    : display more help on using the debugger
 Enter: repeat the previous debugger command
```

# 11 Bien programmer en Eiffel

Comment programmer en respectant autant que possible l'esprit dans lequel a été défini le langage Eiffel ? Je n'ai malheureusement pas la réponse systématique à cette question, mais j'essaye de donner dans la suite une liste de conseils à respecter autant que possible (vue 86).

Avant de rendre un T.P., pensez à vérifier si votre programme respecte bien ces règles. Si ce n'est pas le cas (c'est possible), justifiez vous !

Le premier principe à respecter consiste à n'écrire **que des méthodes** (vue 91) . Comment vérifier qu'une routine est véritablement une méthode ? C'est simple, il suffit de regarder si le corps de la routine utilise effectivement **Current** ou bien un (ou des) attribut(s) de **Current**. D'une manière générale, si un algorithme concerne essentiellement une instance de la classe POINT, cet algorithme doit être dans la classe POINT et l'algorithme doit s'appliquer au receveur (**Current**).

Le langage Eiffel incite à agir directement sur le receveur (vue 94). En général, on a intérêt à modifier directement le receveur par une procédure.

**Exercice 19** Considérons un programme client de la classe POINT qui référence un point existant par l'intermédiaire de la variable `p1`. Ce client souhaite modifier le point `p1` par translation. Si on utilise la procédure `translater` de la vue 19 il faut exécuter l'instruction :

```
p1.translater(2,2)
```

Écrire une (ou des) instructions aboutissant au même résultat en utilisant la procédure `translater2` de la vue 94. Même question avec la procédure `translater3`. Comparez les trois solutions.

**Exercice 20** Le client de la classe POINT souhaite maintenant (cf. exercice précédent) conserver son point initial référencé par `p1` et obtenir un nouveau point. En utilisant `translater2`, écrire l'équivalent de :

```
p2 := p1.twin
p2.translater(2,2)
```

Même question pour `translater3`. Comparer les trois solutions.

**Exercice 21** Reprendre les deux exercices précédents avec la très étrange (et très mauvaise) solution suivante :

```
translater4 (dx, dy : REAL) : POINT is
   do
      x := x + dx
      y := y + dy
      Result := Current
   end -- translater
```

Il est essentiel de cacher autant que possible ce qui ne concerne pas véritablement les clients d'une classe (vues 87 et 88). Dans la mesure du possible, il est souhaitable de localiser et de minimiser les endroits où l'on travaille directement sur la partie privée d'une classe (vues 89 et 90).

## les 6 (premiers) commandements

Vue 86

**cacher l'implantation**

**définir de vraies méthodes**

**choisir des sélecteurs uniformes**

**modifier le receveur**

**singer le monde réel**

**mettre en facteur**

## cacher l'implantation

*Le client ne sait pas si un point est mémorisé par ses coordonnées cartésiennes ou par ses coordonnées polaires*

Vue 87

```
pt : POINT
...
val := pt.x
val := pt.y
val := pt.rho
val := pt.theta
```

*Ne pas exporter ce qui ne concerne pas le client :*

```
class TRIANGLE
...
feature {NONE}
    tab : ARRAY[POINT]
...
```

Vue 88 *Le fournisseur utilise en priorité son interface :*

**Mauvais :**

```
translater (dx,dy : REAL) is
  do
      tab.item(1).translater(dx,dy)
      tab.item(2).translater(dx,dy)
      tab.item(3).translater(dx,dy)
 end --  translater
```

*Minimiser et localiser les endroits où l'on travaille directement sur la partie privée*

Vue 89

```
class TRIANGLE
...
feature {ANY}
    p1 : POINT is
      do Result := tab.item(1)
      end
    p2 : POINT is
      do Result := tab.item(2)
      end
    p3 : POINT is
      do Result := tab.item(3)
      end
```

*Utiliser l'interface dans les assertions de l'interface !*

Vue 90

```
class TRIANGLE
...
invariant
    p1 /= Void
    p2 /= Void
    p3 /= Void
end
```

## définir de vraies méthodes

*Une méthode doit concerner le receveur : Current ou ses attributs.*
**Très mauvais exemple :**

Vue 91

```
class POINT
   ...
   translater_triangle(dx, dy : REAL; t : triangle) is
       do
           t.p1.translater(dx,dy)
           t.p2.translater(dx,dy)
           t.p3.translater(dx,dy)
       end
```

*Une routine qui manipule un triangle doit se trouver dans la classe* TRIANGLE *et agir sur le receveur*

## choisir des sélecteurs uniformes

Vue 92 *Un sélecteur ne doit pas mentionner le nom de la classe où se trouve la routine.* **Mauvais** : `translater_triangle`, `translater_point`, etc.

*D'une classe à l'autre, il faut retrouver le même sélecteur :* `translater` *dans la classe* POINT*,* `translater` *dans la classe* TRIANGLE*,* `translater` *dans la classe* FIGURE*, etc.*

Vue 93

```
class POINT
creation {ANY}
   make, lire, test
...
feature {ANY}
   make(vx, vy : REAL) is
      do
         x := vx
         y := vy
      end --  make

   test is --  Petit test de la classe POINT :
     ...
   lire (file: TEXT_FILE_READ) is
     ...
```

## modifier le receveur

*Travailler par modification du receveur sans instancier un nouvel objet.*
**Mauvais :**

Vue 94

```
class POINT
...
  translater2 (dx, dy : REAL) : POINT is
    do
      create Result.make(x + dx, y + dy)
    end -- translater

  translater3 (dx, dy : REAL; p2 : POINT) is
    do
      p2.make(x + dx, y + dy)
    end -- translater
```

## singer le monde réel

Vue 95

*Autant d'instances lors de l'exécution qu'il y a d'objets dans le monde réel*

*Autant d'instances de la classe* VOITURE *dans l'instance de la classe* PARKING *que de voitures sur le parking*

*Exception : pour économiser un trop grand nombre d'instances (Flyweight Design Pattern)*

## mettre en facteur

Vue 96 *Eviter les redondances dans les données ainsi que dans le texte source Eiffel*

*Introduire des* **routines** *auxiliaires.*

*Utilisez des constantes*

## vérifier aussi que :

*Les fonctions sont sans effet de bord*

*L'interface d'une classe est facile à comprendre.*

Vue 97 *Une classe est facile à utiliser. Par exemple, il faut éviter d'exporter une routine d'initialisation*

*Ne pas gaspiller la mémoire : évitez les instanciations inutiles.*

*Une classe ne porte pas le nom d'un traitement : classe* ANALYSE, *classe* TRANSLATER, *etc.*

Penser également à présenter correctement le texte source Eiffel en respectant l'indentation standard (celle de ce polycopié ou celle préconisée dans ETL). Prendre l'habitude de classer les primitives selon qu'il s'agit d'observateurs ou de modificateurs (vue 98).

### Observateur / Modificateur

Vue 98

```
class interface PILE
feature {ANY} --  Observateurs :
   vide : BOOLEAN
   pleine : BOOLEAN is
   sommet : INTEGER  is
      require
         not vide
feature {ANY} --  Modificateurs :
   empiler(val : INTEGER) is
      require
         not pleine
      ensure
         not vide
```

## 12 Routines à exécution unique

Pour définir une routine à exécution unique, il suffit de remplacer le mot clé **do** par le mot clé **once** dans la définition de la routine. La routine obtenue ne s'exécute, au plus, qu'une seule fois (vue 99). S'il s'agit d'une fonction, le résultat calculé lors de la première exécution est mémorisé dans la partie données statiques de la mémoire (vue 27). Ce résultat mémorisé est retourné lors des appels suivants.

**Exercice 22** Pour les amateurs de langage machine uniquement. Imaginer une traduction systématique en code machine Motorola MC68000 pour les routines **once**. Indications : un booléen peut être associé à chaque routine **once** dans la zone des données allouées statiquement. L'inspection du code C généré par SmartEiffel peut servir aussi.

**Exercice 23** Reprendre l'exercice précédent et optimiser le code généré en utilisant un pointeur de fonction ainsi que du code automodifiant. Indication : il s'agit de supprimer des conditionnelles dans le code généré.

## Routines ONCE

*Définition de routines à exécution unique*

Vue 99

```
class FENETRE
feature {NONE}
    ...
    initialisation is
        once
            -- Instructions d'initialisation à
            -- n'exécuter qu'une seule fois.
            ...
        end
    ...
```

Vue 100

```
feature {ANY}
    ouvrir_cadre (...) is
        do
            initialisation
            ...
        end

    ouvrir_icone (...) is
        do
            initialisation
            ...
        end
end -- class FENETRE
```

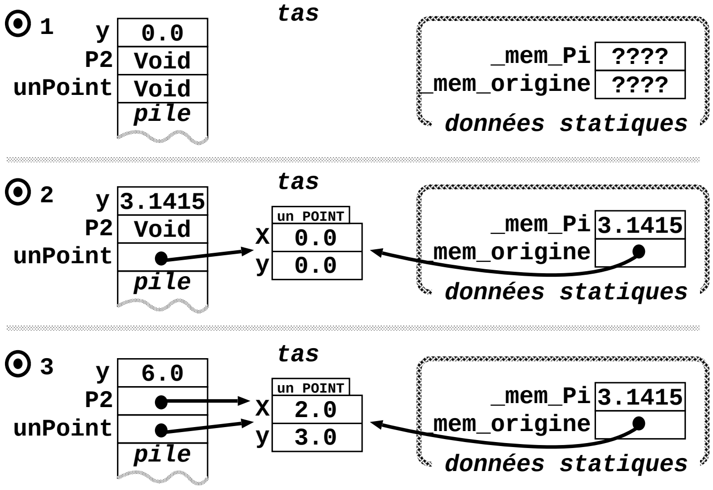
Vue 101

```
class TEST_ONCE
creation {ANY}
    make
feature {ANY}
    pi : REAL is
        once
            Result := 3.14159
        end

    origine : POINT is
        once
            create Result.make(0,0)
        end
```

Vue 102

```
    make is
        local
            unPoint, p2 : POINT
            y : REAL
        do -- ⊙ 1
           unPoint := Current.origine
           y := Current.pi -- ⊙ 2
           y := 6.
           unPoint.translater(2,3)
           p2 := Current.origine -- ⊙ 3
        end -- make
end -- class TEST_ONCE
```

Vue 103




Vue 104

```
class QUI_NUMEROTE_SES_INSTANCES
creation make
feature {ANY}
    numero: INTEGER
feature {NONE}
    counter: COUNTER is
        once
            create Result
        end
    make is
        do
            numero := counter.value
            counter.increment
        end
end
```

cf. SmartEiffel/lib_show/random/demo1

# 13 Divers

## 13.1 Priorité des opérateurs

Vue 105

**Priorité des opérateurs**

| Priorité | |
|---|---|
| 12 | `.` `agent` |
| 11 | `old` `not` `+`*(unaire)* `-`*(unaire)* *autres_opérateurs_unaires* |
| 10 | *opérateurs_binaires_non_standards* |
| 9 | `^`*(puissance)* |
| 8 | `*` `/` `//`*(division entière)* `\\` *(reste)* |
| 7 | `+`*(binaire)* `-`*(binaire)* |

Vue 106

| | |
|---|---|
| 6 | `=` `/=` *(non égal)* < > <= >= |
| 5 | `and` `and then` |
| 4 | `or` `xor` `or else` |
| 3 | `implies` |
| 2 | [ ] *(tuple explicite)* |
| 1 | `;` *(dans les assertions)* |

**Exemples :**

```
x := y^z * t + v
        ⇕
x := (((y^z) * t) + v)
```

```
x := a.b + c
      ⇕
x := ((a.b) + c)
```

Vue 107

```
val := tab @ i . c
        ⇕
val := (tab @ (i . c))
```

```
a.b.c(d).e.f
      ⇕
((((a.b).c(d)).e).f)
```

## 13.2 Attributs constants

Pour tous les types de base (vue 25), ainsi que la classe STRING, la syntaxe montrée sur la vue 108 permet la définition d'attributs constants.

Il faut être conscient du fait qu'une constante de type STRING est l'équivalent d'une routine once (vue 109 et 110). Il n'y a donc qu'une et une seule instance en mémoire pour une chaîne STRING écrite de manière explicite.

### attributs constants

Vue 108

```
pi : REAL is 3.14159265358979323846
Stdout : INTEGER is 0
Stderr : INTEGER is 1
mois_09 : STRING is "Septembre"
epsilon : DOUBLE is 0.00000000000002
vert : CHARACTER is 'v'
new_line : CHARACTER is '%N'
perdu : BOOLEAN is False
texte : STRING is "Ceci est un texte %
                          %qui est long."
saute_3_lignes : STRING is "%N%N%N"
quote_simple : CHARACTER is '%''
```

## Attention !

```
mois_09 : STRING is "Septembre"
```

⇕

Vue 109

```
mois_09 : STRING is
   once
      Result := "Septembre"
   end
```

----------------------

```
mois_09.put('Z',1)
```

```
...
message := "Essai 1%N"
```

⇕

Vue 110

```
str000257 : STRING is "Essai 1%N"
...
message := str000257
```

----------------------

```
message := "Essai 1%N"
io.putstring(message)
message.put('2',7)
io.putstring(message)
```

**Exercice 24** Quelle est la plage de représentation des types REAL et DOUBLE sur votre machine ? Qu'en déduit-on au sujet des défnitions de constantes présentées à la vue 108 ?

## 13.3 Ancienne et Nouvelle notation pour l'instanciation

La nouvelle notation passe par l'utilisation du mot clef **create** en remplacement des caractères `!!` habituels. Pour l'instant encore, les compilateurs Eiffel acceptent les deux notations. La vue 111 donne à l'aide d'exemples l'équivalence entre l'ancienne notation et la nouvelle (remplacement d'instructions `!!` par des instructions **create**. Mis à part le côté plus verbeux de la nouvelle notation, la notation avec **create** permet en plus, la création d'objets de manière anonyme, sous sa forme d'expression, sans utiliser de variable supplémentaire. Par exemple, sur la vue 112, la procédure `foo` prend en argument un POINT nouvellement créé. La procédure `bar` prend en argument un TRIANGLE lui aussi nouvellement créé, lui même composé de trois POINTs neufs. L'utilisation de **create** donne donc lieu soit à une instruction, soit à une expression (l'absence de l'utilisation d'une variable cible permet de distinguer syntaxiquement une expression **create** d'une instruction **create**). Par exemple, toutes les utilisations de **create** sur la vue 111 sont des instructions alors que toutes les utilisations de **create** sur la vue 112 sont des expressions.

### Nouvelle notation avec le mot clef create

Vue 111

```
!!variable
-- Équivalent à:
create variable

!!variable.make(1,1)
-- Équivalent à:
create variable.make(1,1)

!POINT!variable.make(1,1)
-- Équivalent à:
create {POINT} variable.make(1,1)
```

### create en tant qu'expression

*La nouvelle notation permet de créer de nouveau objets, en évitant l'utilisation de variables supplémentaires (expression/instruction) :*

Vue 112

```
-- Appel de la procédure foo avec un nouveau POINT:
foo ( create {POINT}.make(1,1) )

-- Appel de la procédure bar avec un nouveau TRIANGLE:
bar ( create {TRIANGLE}.make (
                                create {POINT}.make(1,1),
                                create {POINT}.make(2,2),
                                create {POINT}.make(3,3)
                               )
```

## 14 Exercices/anciens sujets d'examen

**Exercice 25** En utilisant la primitive `distance` qui donne la distance entre deux points, donner une nouvelle version de la primitive `d2ao` de la vue 19. Quels sont les avantages et les inconvénients de cette solution ? Comment faire pour éviter d'instancier un point lors de chaque appel ?

**Exercice 26** Comment la classe ARRAY est-elle vraiment implantée ? Indication (et réponse) : consulter le texte source array.e.

**Exercice 27** Écrire complètement en Eiffel, sans utiliser les tableaux du langage C, une autre implantation de la classe ARRAY[1]. Les possibilités offertes par l'implantation actuelle doivent être conservées (comme par exemple, la possibilité d'étendre un tableau).

**Exercice 28** Écrire une nouvelle version de la classe STRING en utilisant la classe ARRAY.

**Exercice 29** Exécutez le programme suivant sur la machine :

```
...
from
 i := 1
```

[1] Exercice difficile et à garder pour le deuxième semestre

```
until
    x > 3
loop
    s := once "hop"
    s.append("hop")
    io.put_string(s)
    i := i + 1
end
...
```

Est-ce le résultat attendu ?
Pour bien comprendre ce qui se passe, refaites l'essai en enlevant le mot clef **once** qui est devant la chaine `"hop"`.

**Exercice 30** Combien de chaînes de caractères de la classe STRING sont instanciées durant l'exécution du fragment de programme suivant :

```
io.read_string
s1 := io.last_string
io.read_string
s2 := io.last_string
```

**Exercice 31** Écrire une nouvelle version de la classe TRIANGLE telle que :
- les trois points constituant le triangle soient mémorisés grâce à une instance de la classe ARRAY,
- l'interface de la nouvelle version de la classe TRIANGLE soit identique à la précédente.

**Exercice 32** Soit le fragment de programme Eiffel suivant :

```
...
local
  pt1, pt2, pt3, pt4 : POINT
  t1, t2, t3 : TRIANGLE
do
  create pt1.make(1,1)
  create pt2.make(2,2)
  create pt3.make(3,3)
  create t1.make(pt1,pt2,pt3)
  t2 := t1
  t1 := t3
  create pt1.make(1,1)
  pt1 := pt4
  create pt1.make(1,1)
  pt1 := pt4
  pt2 := pt4
   ⊙ ← Point d'arrêt ici.
```

Répondez aux questions suivantes en considérant que l'exécution est momentanément suspendue au point d'arrêt indiqué à la fin du fragment de programme.

a) Donnez pour les classes POINT d'une part et TRIANGLE d'autre part, le nombre total d'instanciations effectuées.

b) Quelles sont les variables locales du fragment de programme qui ne référencent aucune instance ?

c) Combien y-a-t-il d'instances de la classe POINT potentiellement accessibles ? De quelle façon ?

d) Si l'on considère qu'une instance de la classe POINT occupe deux mots mémoire et qu'une instance de la classe TRIANGLE en occupe trois, quel est le nombre minimum de mots mémoire nécessaire à l'exécution de ce fragment de programme ? On suppose bien entendu que le ramasse-miettes est en parfait état de fonctionnement.

**Exercice 33** On désire disposer d'un moyen rapide d'accès et de calcul des différents termes de la fonction `factoriel` en évitant les (re)calculs inutiles. Voici l'interface de la classe Eiffel chargée de cette tâche :

```
class interface FACTORIEL
feature {ANY}

        i_th (n: INTEGER): INTEGER
                require
                        n >= 0

end interface --  class FACTORIEL
```

L'unique fonction exportée, `i_th` permet à chaque appel d'obtenir la valeur correspondant à factoriel `n`. Par exemple :

```
    x : INTEGER
    fact : FACTORIEL
do
    create fact
    x := fact.ith(2)
    --  actuellement, x contient 2
    x := fact.ith(3)
    --  actuellement, x contient 6
    x := fact.ith(2)
    --  actuellement, x contient 2
```

Écrire le texte Eiffel de la classe FACTORIEL correspondante en respectant scrupuleusement les contraintes suivantes :

- un même terme de la fonction factoriel ne doit jamais être calculé deux fois, autrement dit, une fois un résultat calculé il est automatiquement mémorisé,
- aucun terme de la fonction factoriel ne doit être calculé avant que cela ne soit véritablement nécessaire ;
- même s'il y a plusieurs instances de la classe FACTORIEL, la mémoire des résultats déjà calculés doit être unique.

**Exercice 34** Soit la classe DOUBLET :

```
class DOUBLET
creation {ANY}
     make
feature {ANY}
   premier: INTEGER
   reste: DOUBLET
   make(p: INTEGER; r: DOUBLET) is
      do
         premier := p
         reste := r
      end --  make
```

```
      dupliquer : DOUBLET is
         do
            create Result.make(premier, reste)
         end -- dupliquer
      change_reste (nr: DOUBLET) is
         do
            reste := nr
         end -- change_reste
   end -- class doublet
```

Dessinez l'état de la mémoire lors de l'exécution du fragment de programme suivant :

```
   ...
   local
      liste_a, liste_b, liste_c : DOUBLET
      duvoid, temp, temp2 : DOUBLET
   do
      create temp.make(3, duvoid)
      create temp2.make(2, temp)
      create liste_a.make(1, temp2)

      temp := liste_a.reste.dupliquer
      create liste_b.make(1, temp)

      create temp.make(2, liste_a.reste.reste.dupliquer)
      create liste_c.make(1,temp)
      temp.reste.change_reste(liste_c)
      temp := Void
      temp2 := duvoid
       ⊙ ← ÉTAT DE LA MÉMOIRE ICI.
```

**Exercice 35** On considère à nouveau la classe DOUBLET utilisée précédemment. Complétez la définition de la fonction `question1` dont l'interface est définie comme suit :

```
question1: DOUBLET is
   local
     ...
   do
     ...
     ...
   ensure
      Result.premier = 1
      Result.reste.premier = 2
      Result.reste.reste.premier = 3
      Result.reste.reste.reste = Void
   end
```

**Exercice 36** Complétez la définition de la fonction `question2` dont l'interface est définie comme suit :

```
question2: DOUBLET is
   local
      ...
   do
      ...
```

```
      ...
   ensure
      Result.premier = 1
      Result.reste.premier = 2
      Result.reste.reste.premier = 3
      Result.reste.reste.reste = Result
   end
```

Indication : cette fonction construit et retourne une liste circulaire à trois éléments (1,2,3,1,2,3,1,2,3,...).

**Exercice 37** Dessinez (en respectant les conventions vues en cours) l'instance retournée par la fonction question3 suivante :

```
question3: DOUBLET is
   do
      Result := question2
      Result.reste.reste.change_reste(Void)
   end
```

N'oubliez pas d'indiquer schématiquement (par une flêche) la valeur du résultat de la fonction `question3` elle-même.

**Exercice 38** Dessinez (en respectant les conventions vues en cours) l'instance retournée par la fonction question4 suivante :

```
question4: DOUBLET is
   do
      Result := question2.dupliquer
   end
```

De même, n'oubliez pas d'indiquer schématiquement la valeur du résultat de la fonction `question4` elle-même.

**Exercice 39** Soit la classe A :

```
class A
feature {ANY}
   lien : A
   attacher (unA : A) is
      do
         lien := unA
      end -- attacher
   allonger(combien : INTEGER) is
      local
         unA : A
         i : INTEGER
      do
         from
            i := combien
         until
            i = 0
         loop
            i := i - 1
            create unA
```

```
                unA.attacher(lien)
                lien := unA
            end
        end --  allonger
    end --  class A
```

Dessinez, en adoptant les mêmes conventions que celles vues en cours Eiffel, l'état de la mémoire lors de l'exécution du fragment de programme suivant :

```
...
local
    suiteTrois : A
    boucleCinq : A
    unV : A
    temp : A
do
        --
    create suiteTrois
    suiteTrois.allonger(2)

        --
    create boucleCinq
    boucleCinq.attacher(boucleCinq)
    boucleCinq.allonger(4)
        --
    create unV
    create temp
    temp.attacher(unV)
    create temp
    temp.attacher(unV)
     ⊙ ← ÉTAT DE LA MÉMOIRE ICI.
```

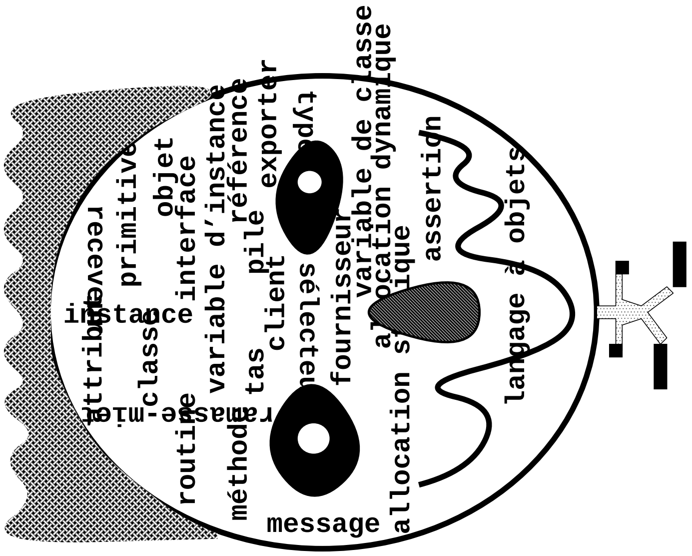
**Exercice 40** Considerez les deux instructions Eiffel suivantes extraites d'une routine (illisible et non recommandable) :

```
...
a := b.c;
d.e(f).g.h;
```

On suppose que ces deux instructions sont effectivement acceptées par le compilateur. L'exercice consiste à remplir la table suivante en mettant dans chacune des cases soit la lettre T, soit la lettre J ou soit la lettre C. La lettre T signifie «**T**oujours», J signifie «**J**amais» et C comme «**C**'est possible». Voici la table à remplir :

| | a | b | c | d | e | f | g | h |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| est une fonction | | | | | | | | |
| est une procédure | | | | | | | | |
| est une variable locale | | | | | | | | |
| est un attribut | | | | | | | | |

Vue 113




## 15 Généricité non contrainte

La généricité est le fait de pouvoir définir une classe dont la définition est paramétrée par une ou plusieurs autres classes. On parle de généricité non contrainte dans le cas où l'on ne fait aucune supposition particulière sur les opérations disponibles dans la (ou les) classe(s) paramètre(s). Les vues 114, 115, 116 et 117 présentent l'exemple de la classe PILE[T] qui permet la manipulation de piles d'entiers, de piles de caractères, de piles de piles, etc.

Dans le cas d'une pile, il n'est pas nécessaire de supposer quoi que ce soit sur le type des éléments à empiler. Aucune supposition particulière n'est faite concernant le type T. C'est donc un exemple de généricité non contrainte.

## GENERICITE non contrainte

Vue 114

```
class PILE[T]
creation {ANY}
   make
-- Variables d'instances :
feature {NONE}
   table : ARRAY[T]
feature {ANY}
   nb_elements : INTEGER
feature {ANY} -- Constructeur :
   make is
      do
         create table.make(1,2)
         nb_elements := 0
```

Vue 115

```
      ensure
         vide
      end -- make
feature {ANY} -- Consultations :
   vide : BOOLEAN is
      do
         Result := (nb_elements = table.lower - 1)
      end -- vide
   sommet : T is
      require
         not vide
      do
         Result := table.item(nb_elements)
      end -- sommet
```

Vue 116

```
feature {ANY} -- Modifications :
   empiler (x : T) is
      do
         nb_elements := nb_elements + 1
         table.force(x,nb_elements)
      ensure
         not vide
         sommet = x
         nb_elements = (old nb_elements) + 1
      end -- empiler
```

Vue 117

```
   depiler is
      require
         not vide
      do
         nb_elements := nb_elements - 1
      ensure
         nb_elements = (old nb_elements) - 1
      end -- depiler
invariant
   nb_elements >= 0
   table.upper >= nb_elements
end -- class PILE
```

Une classe générique n'est pas utilisable directement mais uniquement par *dérivation*[1], en fixant une valeur aux types paramètres.

Dans l'exemple de la classe PILE, T est un paramètre générique formel. Le paramètre générique effectif est donné lors de la déclaration de variables permettant la manipulation de piles (vue 118). Le type PILE[CHARACTER] est dit «génériquement dérivé» du type PILE[T] en utilisant CHARACTER comme paramètre générique effectif.

Le type PILE[CHARACTER] n'est pas conforme avec le type PILE[POINT]. Il est donc interdit d'affecter entre elles les variables `pileDeCaracteres` et `pileDePoints`.

### Dérivation d'un type générique

Vue 118

```
local
  pileDeCaracteres : PILE[CHARACTER]
  pileDePoints : PILE[POINT]
  pileDePileDePoints : PILE[PILE[POINT]]
do
  create pileDeCaracteres.make
  create pileDePoints.make
  create pileDePileDePoints.make
  pileDeCaracteres.empiler('a')
  if pileDePoints.vide then
     pileDePoints := pileDePileDePoints.sommet
```

La classe ARRAY prédéfinie en Eiffel est également une classe générique (vue 119).

La généricité représente un progrès considérable en évitant la duplication de textes sources. Tous les langages de classes ne disposent pas forcément de la généricité (vue 119) qui, comme nous le verrons plus tard, peut être plus ou moins «simulée» avec l'héritage.

[1]Dans la littérature, on utilise également le terme «instanciation d'un type générique» qui présente l'inconvénient de prêter confusion avec l'instanciation d'une classe.

```
local
  tab : ARRAY[CHARACTER]
  ...
```

Vue 119

| | *genericité* | *typage statique* | *liaison dynamique* |
|---|---|---|---|
| Eiffel | oui | oui | oui |
| ADA95 | oui | oui | depuis 1995 |
| C++ | template | oui | Pas toujours |
| Smalltalk | NON | NON | OUI |
| Java | non | oui | oui |

**Exercice 41** La méthode `depiler` de la classe PILE[T] (vue 117) ne fait que décrémenter l'indice de la table qui continue donc à référencer l'objet dépilé ! Expliquez ce qui se passe lorsque le ramasse-miettes se déclenche ? Corriger cette méthode afin que le ramasse-miettes puisse faire correctement son travail s'il y a lieu.

**Exercice 42** Écrire une autre implantation la classe PILE en utilisant une liste chaînée (de la classe LIST par exemple).

**Exercice 43** En utilisant un traitement de textes ou en utilisant la commande `sed` sous UNIX, comment pourrait-on ajouter au langage C un mécanisme comparable (généricité non contrainte). Donnez les grands principes.

**Exercice 44** Écrire une commande UNIX capable de dresser la liste des classes génériques de la bibliothèque Eiffel.

# 16 Héritage

## HÉRITAGE

Réutilisation et mise en facteur de points communs entre différentes classes.

Vue 120

**classification – spécialisation**

**abstraction – factorisation d'algorithmes**

**implantation**

### Mécanisme

Recopie automatique de texte source

## 16.1 Spécialiser par enrichissement

On suppose qu'une première application de gestion d'un stock d'articles existe et fonctionne. Une classe de cette application, la classe ARTICLE est donnée sur les vues 121, 122 et 123.

```
class ARTICLE
creation {ANY}
   make
feature {ANY} -- Variables d'instances :
   designation : STRING
   prix_ht : REAL
   quantite : INTEGER
```

Vue 121

```
feature {ANY} -- Constructeur :
   make (nom : STRING prix : REAL; nombre : INTEGER) is
      require
         prix > 0; nombre >= 0
      do
         designation := nom
         prix_ht := prix
         quantite := nombre
```

```
      ensure
         designation = nom; prix_ht = prix
         quantite = nombre
      end -- make
feature {ANY} -- Consultations :
   prix_ttc : REAL is
      do
```

Vue 122

```
         Result := prix_ht * 1.186
      end -- prix_ttc
feature {ANY} -- Modifications :
   retirer (nombre : INTEGER) is
      require
         nombre > 0; nombre <= quantite
      do
         quantite := quantite - nombre
```

Vue 123

```
      ensure
         quantite = (old quantite) - nombre
      end -- retirer
   ajouter (nombre : INTEGER) is
      require
         nombre > 0
      do
         quantite := quantite + nombre
      ensure
         quantite = (old quantite) + nombre
      end -- ajouter
invariant
   quantite >= 0; prix_ht >= 0
end -- class ARTICLE
```

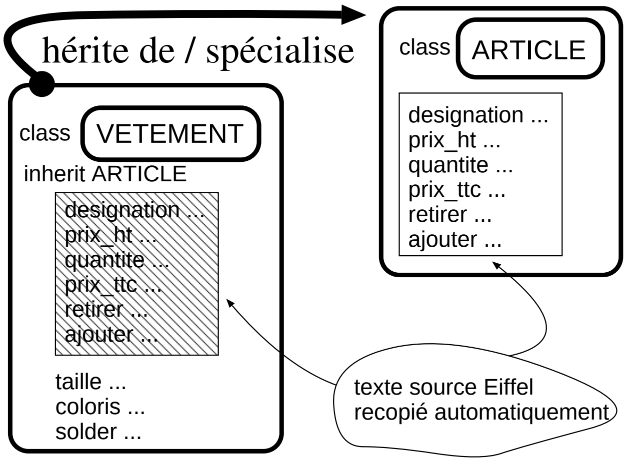
On suppose maintenant qu'il nous faut développer une deuxième application (pour un autre client par exemple). Cette deuxième application est similaire à la précédente car il s'agit de gérer un stock de vêtements. La notion de vêtement n'est qu'un cas particulier de la notion d'article plus générale et on souhaite que toutes les primitives de la classe ARTICLE (`designation`, `prix_ht`, `quantite`, `ajouter` et `retirer`) soient reprisent dans la classe VETEMENT. Un VETEMENT doit en outre disposer de primitives spécifiques (`taille`, `coloris`, `solder`). Dans ce cas, on dit que la classe VETEMENT est une **spécialisation** de la classe ARTICLE. L'héritage est bien adapté pour réaliser une telle relation de spécialisation (cf. vue 124).

Vue 124

```
class VETEMENT
inherit
   ARTICLE
creation {ANY}
   make
feature {ANY}
   taille : INTEGER
   coloris : STRING
   solder (remise : REAL) is
      require
         0 < remise; remise < 100
      do
         prix_ht := prix_ht * (1 - (remise / 100))
      ensure
         prix_ht = (old prix_ht) * (1 - (remise / 100))
      end -- solder
end --  class VETEMENT
```

La classe VETEMENT hérite de la classe ARTICLE. On dit dans ce cas que la classe ARTICLE est la **superclasse** de la classe VETEMENT. Inversement, on dit que la classe VETEMENT est **une sous-classe** de la classe ARTICLE. Pour comprendre le mécanisme d'héritage, on peut considérer qu'il s'agit ni plus ni moins que d'un mécanisme de recopie automatique de texte source (vue 125). Tout se passe «comme si» toutes les primitives de la classe ARTICLE étaient recopiées dans la classe VETEMENT.

Vue 125




On peut même considérer que tout se passe comme si l'on venait d'écrire le texte source Eiffel des vues 126, 127, 128 et 129. Sur ces vues, les lignes recopiées automatiquement sont marquées d'une astérisque dans la colonne de gauche.

Vue 126

```
   class VETEMENT
   creation {ANY}
     make
|* feature {ANY} -- Variables d'instances :
|*   designation : STRING
|*   prix_ht : REAL
|*   quantite : INTEGER
|* feature {ANY} -- Constructeur :
|*   make (nom : STRING prix : REAL; nombre : INTEGER) is
|*       require
|*         prix > 0; nombre >= 0
|*       do
|*         designation := nom
|*         prix_ht := prix
|*         quantite := nombre
```

Vue 127

```
|*       ensure
|*         designation = nom; prix_ht = prix
|*         quantite = nombre
|*       end -- make
|* feature {ANY} -- Consultations :
|*   prix_ttc : REAL is
|*       do
|*         Result := prix_ht * 1.186
|*       end -- prix_ttc
|* feature {ANY} -- Modifications :
|*   retirer (nombre : INTEGER) is
|*       require
|*         nombre > 0; nombre <= quantite
|*       do
|*         quantite := quantite - nombre
```

Vue 128

```
|*       ensure
|*         quantite = ( old quantite) - nombre
|*       end -- retirer
|*    ajouter (nombre : INTEGER)  is
|*       require
|*         nombre > 0
|*       do
|*         quantite := quantite + nombre
|*       ensure
|*         quantite = (old quantite) + nombre
|*       end -- ajouter
```

Vue 129

```
   feature {ANY}
     taille : INTEGER
     coloris : STRING
     solder (remise : REAL)  is
        require
          0 < remise; remise < 100
        do
          prix_ht := prix_ht * (1 - (remise / 100))
        ensure
          prix_ht = (old prix_ht) * (1 - (remise / 100))
        end -- solder
|* invariant
|*   quantite >= 0; prix_ht >= 0
   end --  class VETEMENT
```

**Exercice 45** Définir la classe VETEMENT sans utiliser l'héritage en procédant par composition. Comparez la solution obtenue avec celle faisant appel à l'héritage.

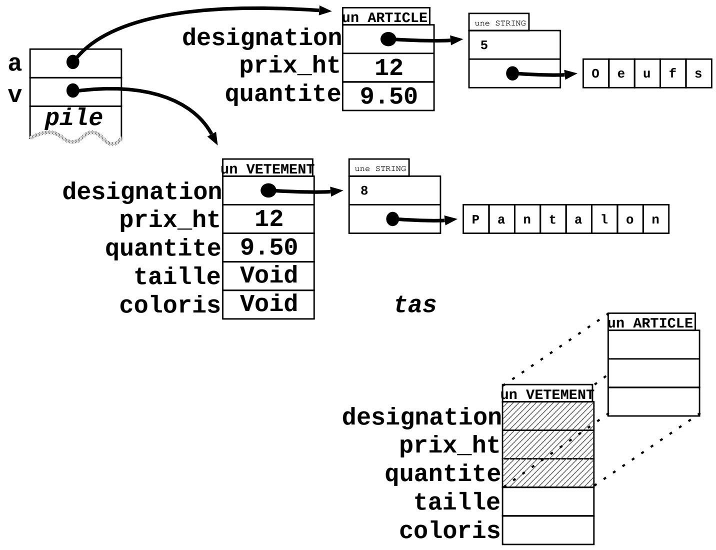
Toutes les primitives de la classe ARTICLE sont utilisables avec une variable de type VETEMENT mais l'inverse n'est pas vrai (vue 130). Une instance de la classe VETEMENT possède toutes les variables d'instances définies dans la classe ARTICLE ainsi que toutes les variables d'instances spécifiquement définies dans la classe VETEMENT (vue 131). Il est important (pour bien comprendre la suite) que le début d'une instance de la classe VETEMENT se «superpose» exactement sur une instance de la classe ARTICLE.

## Clients de la classe VETEMENT

Vue 130

```
local
  v : VETEMENT
  a : ARTICLE
do
  create a.make("Oeufs",9.50,12)
  create v.make("Pantalon",300.00,25)
  a.ajouter(10)
  v.ajouter(15)
  v.solder(10)  ⊙ ← Point d'arrêt ici.
```

Vue 131




Dans les méthodes d'une sous-classe, **toutes** les variables d'instances de ses superclasses sont accessibles. La relation d'héritage est transitive et, plus la classe est «basse» dans le graphe d'héritage, plus le nombre de variables d'instances augmente.

# 17 Premières règles d'héritage

**Premières règles de l'héritage**

Vue 132

**primitives** : recopiées par défaut avec le même niveau de visibilité (**feature** {`X,Y,...`})

**constructeurs** : la (les) clause(s) **creation** ne sont jamais recopiées

**invariant** : toujours recopié et considéré prioritairement avant l'invariant propre à la sous-classe

Le mécanisme d'héritage obéit à des règles bien précises. Tout le texte de la superclasse n'est pas systématiquement recopié n'importe comment et n'importe où dans la sous-classe (vue 132).

### 17.1 Héritage des primitives

Par défaut, les primitives sont systématiquement recopiées dans la sous-classe avec le même niveau de visibilité que celui de la classe d'origine. Une primitive sous couvert d'une clause **feature** {`X`} dans la superclasse se retrouve donc également sous couvert d'une clause **feature** {`X`} dans la sous-classe.

### 17.2 Héritage des constructeurs

La clause **creation** de la superclasse n'est jamais recopiée dans la sous-classe. Si une sous-classe ne comporte pas de clause **creation**, seul le constructeur par defaut (`"`**create** `"`) est donc disponible.

### 17.3 Héritage de l'invariant

L'invariant de la superclasse est toujours recopié dans la sous-classe. Si la sous-classe comporte un invariant propre, tout se passe comme si celui de la superclasse était recopié avant celui de la sous-classe.

## 18 Contrôler l'héritage

De nombreuses options dans la clause d'héritage permettent d'adapter les règles d'héritage.

## 18.1 Renommer une méthode héritée

Il est possible de renommer une méthode héritée en utilisant le mot clé **rename**. Sur l'exemple de la vue 133, la méthode `make` de la classe ARTICLE est renommée `make_article` dans la classe VETEMENT. Ce faisant, il faut bien comprendre que seul le nom `make_article` est utilisable pour invoquer la méthode make de la classe ARTICLE. Le nom `make`, maintenant «libre» dans la classe VETEMENT peut être utilisé pour donner une nouvelle définition du constructeur. A l'intérieur du corps de la nouvelle définition de `make`, on fait appel à la méthode make de la classe ARTICLE. Cette technique est courante en programmation par objets. On dit que l'on fait appel à la «**superméthode**» (voir aussi page 165).

Vue 133

```
class VETEMENT
inherit
  ARTICLE
      rename make  as make_article
   end
creation {ANY}
  make
feature {ANY}
  make (nom : STRING; prix : REAL; nombre : INTEGER
        mensuration : INTEGER; couleur : STRING)  is
      require
        27 < mensuration; mensuration < 65
      do
        make_article (nom, prix, nombre)
        taille := mensuration
        coloris := couleur
```

Vue 134

```
        ensure
          taille = mensuration; coloris = couleur
        end -- make
    taille : INTEGER
    coloris : STRING
    solder (remise : REAL) is
        require
          ...
        end -- solder
invariant
    taille >= 0
    27 < taille ; taille < 65
end -- class VETEMENT
```

```
create v1.make("Pantalon",299.50,25,36,"Vert")
v1.ajouter(10)
v1.solder(10)
v.make_article("Oeufs",9.50,12)
```

## Adapter les règles d'héritage

Vue 135

```
class VETEMENT
inherit
    ARTICLE
        rename make as make_article
        export {NONE} make_article
    end
creation {ANY}
    make
...
```

### 18.2 Changer le statut d'exportation

Une autre adaptation possible des règles d'héritage consiste à pouvoir intervenir sur le niveau d'exportation d'une primitive héritée. Ainsi, il est possible par exemple de changer le statut d'exportation de la primitive `make_article` (vue 135). Il est désormais interdit d'utiliser `make_article` sur une variable de type VETEMENT. Ceci ne remet pas en cause le reste de la classe car `make_article` reste applicable sur `Current` (comme d'habitude).

## 19 Spécialiser par masquage

### 19.1 Redéfinition d'une méthode héritée

Il est possible de changer la définition d'une primitive héritée en signalant son intention dans la clause **inherit** grâce au mot clé `redefine` (vue 136). La nouvelle classe obtenue, ARTICLE_DE_LUXE a donc exactement la même interface que sa superclasse ARTICLE (vue 137). Seul «l'effet» de la méthode `prix_ttc` est différent : la taxe appliquée aux ARTICLE_DE_LUXE est de 33%.

**Spécialiser par masquage**

Vue 136

```
class ARTICLE_DE_LUXE
inherit
  ARTICLE
      redefine prix_ttc
   end
creation {ANY}
  make
feature {ANY}
  prix_ttc : REAL  is
      do
        Result := prix_ht * 1.33
      end -- prix_ttc
end --  class ARTICLE_DE_LUXE
```

### Spécialiser par masquage

Vue 137

```
local
  a : ARTICLE
  adl : ARTICLE_DE_LUXE
do
  create a.make("Pain",1.00,100)
  create adl.make("Caviar",100.00,1)
  a.retirer(100)
  adl.retirer(1)
  io.put_real(a.prix_ttc) -- ←  imprime 1.186
  io.put_real(adl.prix_ttc) -- ←  imprime 133.00
```

Le profil d'une primitive redéfinie doit être conforme au profil de la primitive héritée correspondante. Par exemple, le nombre d'arguments d'une routine ne doit pas changer dans la sous-classe.

## 19.2 Héritage des assertions

Si l'on souhaite revenir sur les assertions d'une méthode qui est redéfinie, il faut utiliser la syntaxe **require else** et **ensure then** (vue 138). Ces mots clés sont là afin de rappeler l'ordre dans lequel les pré- et post- conditions doivent être évaluées.

## Héritage des assertions

Vue 138

```
class B
inherit A
        redefine m
        end
...
  m ... is
     require else
        ... -- ← pré-condition plus faible
     do
        ...
     ensure then
        ... -- ← post-condition plus forte
     end -- m
```

## Exécution des assertions

Vue 139

**require**

$$pré(m_B) \textbf{ or else } pré(m_A)$$

**ensure**

$$post(m_B) \textbf{ and then } post(m_A)$$

# 20 Polymorphisme de variables et liaison dynamique

## 20.1 Polymorphisme de variable

En mémoire, le début d'une instance de la classe VETEMENT est complètement identique à une instance de la classe ARTICLE. Toutes les méthodes de la classe ARTICLE peuvent donc s'appliquer sur les instances de la classe VETEMENT. La réciproque n'est pas vraie et, pour cette raison, un seul sens d'affectation est autorisé entre les variables déclarées ARTICLE et les variables déclarées VETEMENT (vue 140).

Une même variable peut donc, au cours de l'exécution d'un programme, référencer des instances de classes différentes.

Pour une variable, on parle soit de **type statique** pour indiquer la classe de déclaration de la variable, ou on parle de **type dynamique** pour désigner à un instant donné la classe d'appartenance de l'instance référencée par la variable.

Le compilateur ne se préoccupe que du type statique pour effectuer les vérifications sémantiques. La vue 141 donne les règles de concordances de types.

La notation **like** permet de déclarer une variable en faisant référence à une autre variable, ou à une fonction ou encore par rapport à `Current` (vue 142).

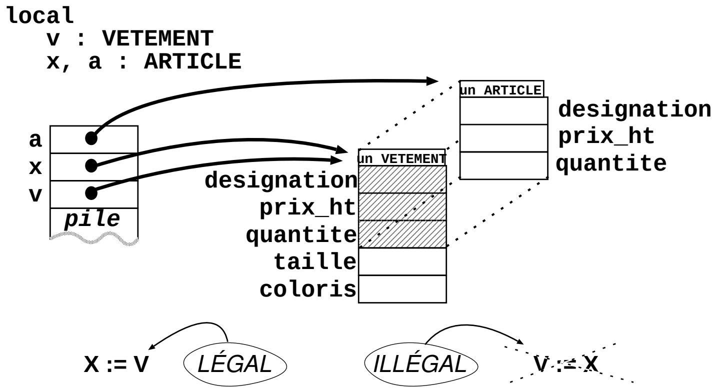
Considérons l'exemple d'héritage présenté sur la vue 143. Que se passe-t-il dans la classe RECTANGLE si l'on suppose que la classe POLYGONE contient les définitions présentées sur la vue 144 ?

Dans la classe RECTANGLE, tout se passe **comme si** le texte des méthodes `intersection1` et `intersection2` était recopié. La déclaration **like** `Current` est donc interprétée de façon spécifique, après recopie, dans la classe RECTANGLE (cf. vue 145 et 146).

**Exercice 46** Dressez la liste des appels acceptés par le compilateur pour la méthode `intersection3` ajoutée dans la classe POLYGONE avec le profil :

```
intersection3 (p2 : like Current): RECTANGLE  is
   do ...
   end --  intersection3
```

Vue 140




## Concordance de types

Vue 141

Un type Y concorde avec un type X si :

• X *et* Y *identiques*

• X *n'est pas une classe générique et* Y *hérite de* X

• X *et* Y *sont des classes génériques et* Y *hérite de* X *et chaque paramètre générique de* Y *concorde avec le paramètre générique correspondant de* X

• Y *est de la forme* **like** repère*, et* repère *concorde avec* X

• Y *concorde avec un type* Z *et* Z *concorde avec* Y*.*

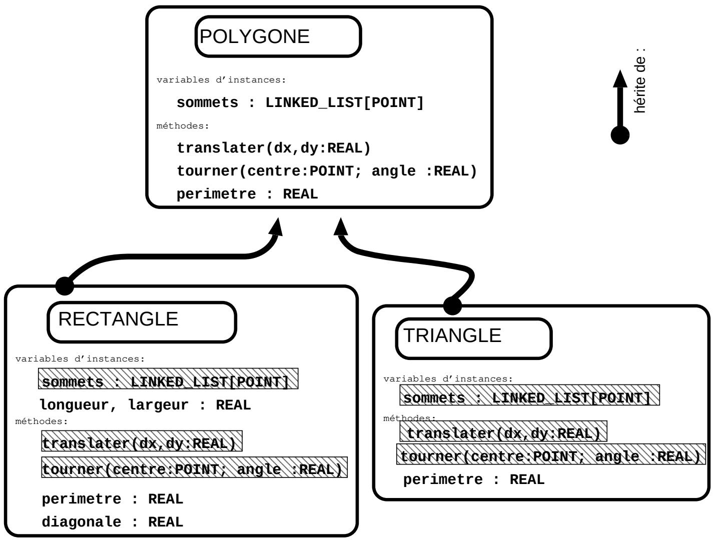
## Typage statique

Vue 142

```
v : VETEMENT
v2 : like v
x : PILE[INTEGER]
y : like x
...
f1 (arg1 : INTEGER) : REAL is ...
f2 (arg1 : like f1) is ...
f3 (arg1 : like Current) is ...
t : like Current
```

*Indiquer un type statique avec la mention* **like** *revient à fixer «relativement» le type statique.*

Vue 143



Vue 144

```
class POLYGONE
feature {ANY}
  intersection1 (p2 : POLYGONE): POLYGONE  is
      do ...
      end --  intersection1
  intersection2 (p2 :  like Current):  like Current  is
      do ...
      end --  intersection2
  ...
end --  class POLYGONE
```

```
class RECTANGLE
inherit POLYGONE
  ...
end --  class RECTANGLE
```

## Vérifications sémantiques statiques

Vue 145

```
        ...
        p1, p2, p3 : POLYGONE
        r1, r2, r3 : RECTANGLE
      do
        p1 := p2.intersection1(p3)
        p1 := p2.intersection1(r3)
        p1 := r2.intersection1(p3)
        p1 := r3.intersection1(r3)
        ...
```

**Exercice :** parmi les $2^3 * 2$ possibilités d'appels de `intersection1` et `intersection2`, combien y-a-t-il d'appels sémantiquements corrects ?

Vue 146

```
--  Pour intersection1 dans POLYGONE:
-- POLYGONE × POLYGONE → POLYGONE
 p1 := p2.intersection1(p3)
 p1 := p2.intersection1(r3)
--  Pour intersection2 dans POLYGONE:
-- POLYGONE × POLYGONE → POLYGONE
 p1 := p2.intersection2(p3)
 p1 := p2.intersection2(r3)
--  Pour intersection1 dans RECTANGLE:
-- RECTANGLE × POLYGONE → POLYGONE
 p1 := r2.intersection1(p3)
 p1 := r2.intersection1(r3)
--  Pour intersection2 dans RECTANGLE:
-- RECTANGLE × RECTANGLE → RECTANGLE
 r1 := r2.intersection2(r3)
 p1 := r2.intersection2(r3)
 ...
```

## 20.2 Liaison dynamique

Une question essentielle se pose lorsque qu'il y a masquage d'une méthode. Quelle est la méthode invoquée ? celle qui correspond au type statique de la variable ? ou bien celle qui correspond au type dynamique ? Réponse : celle correspondant au type dynamique bien sûr (vue 147). Finalement, si la variable `article` référence une instance de la classe ARTICLE, la TVA calculée est de 18% et si la même variable référence une instance de la classe ARTICLE_DE_LUXE, la TVA calculée passe automatiquement à 33%.

En indiquant le nom de la classe à instancier entre les deux points d'exclamations qui marquent l'instanciation, il est possible d'éviter l'utilisation d'une variable intermédiaire pour instancier par exemple un VETEMENT et faire en sorte qu'il soit referencé par une variable de type statique ARTICLE (vue 148).

## Liaison dynamique

Vue 147

Priorité au type dynamique pour sélectionner la méthode

```
 article : ARTICLE
 unLuxe : ARTICLE_DE_LUXE
do
  if age_du_capitaine = 33 then
     create unLuxe.make("Caviar",100.00,1)
     article := unLuxe
  else
     create article.make("Oeufs",9.50,12)
  end
 io.putreal(article.prix_ttc)   ←   ICI
 ...
```

## Indiquer la classe à instancier

Vue 148

Priorité au type dynamique pour sélectionner la méthode

```
article : ARTICLE
do
if age_du_capitaine = 33 then
   create {ARTICLE_DE_LUXE} article.make("Caviar",100.00,1)
elseif vitesse_du_vent = 12 then
   create {VETEMENT} article.make("Pantalon",299.50,25,36,"Vert")
else
   create article.make("Oeufs",9.50,12)
end
...
```

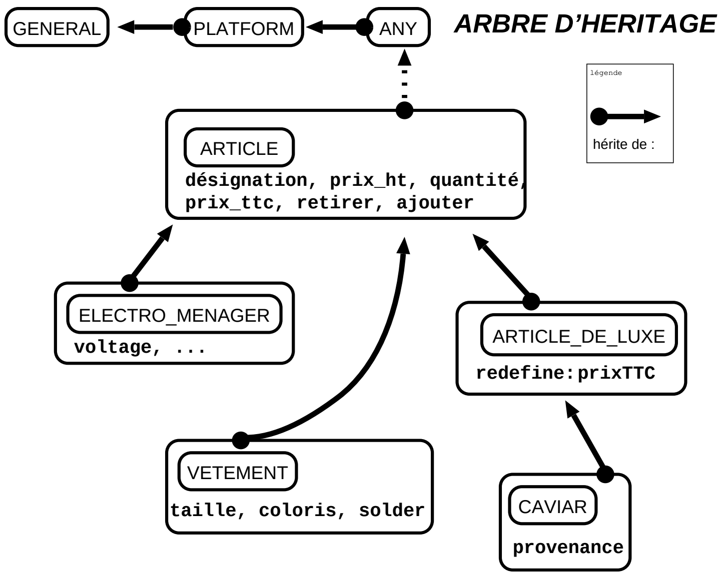
**Exercice 47** Écrire une classe COMMANDE possèdant une opération de calcul du montant total TTC d'une commande. Utilisez la liaison dynamique.

# 21 Relation d'héritage

## 21.1 L'arbre d'héritage

La relation d'héritage est transitive. On peut imaginer de classifier les diverses catégories d'articles de la même manière que l'on classifie le règne animal (vue 149). Même si elle n'est pas mentionnée, par défaut, toute classe hérite de la classe ANY. La classe GENERAL est la racine de l'arbre d'héritage.

Vue 149



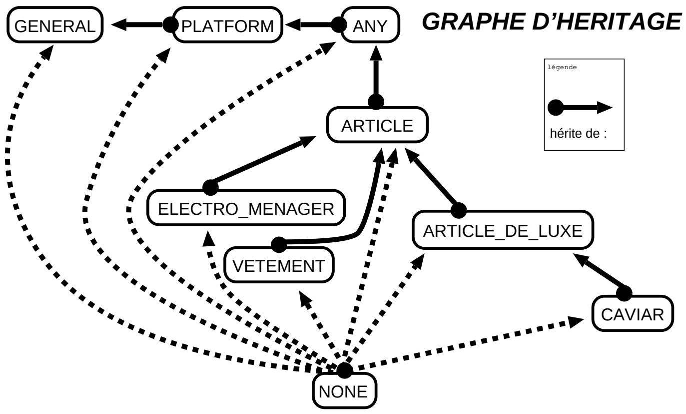
Vue 150

```
class GENERAL
...
   frozen io: STD_INPUT_OUTPUT  is
        -- Handle to standard file setup.
        -- To use the standard input/output file.
      once
        create Result.make
      ensure
        Result /= Void
      end
   frozen Void: NONE  is
     -- Void reference.
      external "SmartEiffel"
      end
```

Vue 151

```
   frozen clone(other : ANY) : like other is
        -- Void if ‘other’ is Void; otherwise new object
        -- equal to ‘other’.
     do
        if other /= Void then
           Result := other.twin
        end
     ensure
        equal: equal(Result,other)
     end
end -- class GENERAL
```

Vue 152




Vue 153

```
class PLATFORM
inherit
    GENERAL
     end
...
Maximum_character_code : INTEGER is 255
...
end -- class PLATFORM

class ANY
inherit
    PLATFORM
     end
end --  class ANY
```

Il est possible de donner deux noms à une même primitive. En outre, il est possible également d'utiliser le mot clé **frozen** (Vue 150) devant un nom de primitive. Cette précision a pour effet de «geler» la définition pour le nom en question, c'est à dire d'éviter toute possibilité de redéfinition dans une sous-classe. Sur l'exemple, comme le mot clé **frozen** se trouve devant le nom `standard_is_equal` il est désormais interdit de donner dans toutes les sous-classes de GENERAL une nouvelle définition portant ce nom. Dans toutes les classes donc, le nom `standard_is_equal` fait référence à la définition qui est dans la classe GENERAL.

La classe ANY peut être redéfinie et il est possible par exemple d'y ajouter des primitives d'intérêt général comme par exemple l'accès aux entrées sorties standards (vue 154). Il faut cependant rester très prudent chaque fois que l'on change la définition de la classe ANY car la modification de cette classe a des conséquences sur l'ensemble des classes de la bibliothèque.

Ne mettez pas n'importe quoi dans la classe ANY. Par exemple, si on ajoute dans la classe ANY la définition d'une variable d'instance, on ajoute également cette variable d'instance (par transitivité de la relation d'héritage), dans toutes les classes. Inutile de dire que c'est la catastrophe du point de vue de la mémoire occupée par les instances.

## Redéfinition possible de la classe ANY

Vue 154

```
class ANY
inherit
  PLATFORM
   end
feature {NONE}

  danger : PAS_CA

end --  class ANY
```

**PRUDENCE !**

**Exercice 48** Ajouter une post-condition à la méthode périmètre de la classe rectangle (de la vue 143) pour vérifier que le résultat calculé est bien identique à celui calculé par la superméthode.

L'opérateur d'affectation noté "`?=`" permet de faire une tentative d'affectation non conforme. On peut, en utilisant cet opérateur, essayer d'aller *régulièrement* à l'encontre des règles de concordance de types (énoncées vue 141). S'il apparaît à l'exécution que le type dynamique est finalement conforme, l'affectation est effectuée sinon, la variable est mise à `Void`. Par exemple, la notation `?=` permet d'essayer de faire une affectation dans le sens :

```
vetement ?= article ;
```

Deux cas de figures sont possibles à l'exécution. Soit le type dynamique de la variable `article` est VETEMENT et dans ce cas l'affectation est faite. Soit le type dynamique de la variable `article` n'est pas conforme avec le type statique de la variable `vetement` : il ne s'agit ni d'une instance de la classe VETEMENT ni d'une instance d'une sous-classe de VETEMENT (c'est par exemple une instance de la classe ARTICLE_DE_LUXE). Dans ce deuxième cas, la variable `vetement` est mise à `Void`. Il va sans dire que si l'on peut **éviter d'utiliser l'opérateur `?=`** c'est mieux.

**Exercice 49** Avec l'opérateur `?=`, il est possible de «simuler» la généricité en utilisant l'héritage. Écrire une classe PILE, non générique, permettant d'empiler toutes sortes d'instances. Dressez la liste des avantages et des (gros) inconvénients de cette solution.

## Opérateur ?=

*Tentative d'affectation potentiellement non conforme !*

Vue 155

```
    tab_any : ARRAY[ANY]
    a : ARTICLE
    v : VETEMENT
    adl : ARTICLE_DE_LUXE
    p : POINT
    i : INTEGER
  do
    create a.make("Oeufs",9.50,12)
    create adl.make("Caviar",100.00,2)
    create v.make("Pantalon",299.50,25,36,"Vert")
    create p.make(1,1)
    tab_any := <<a,adl,v,p>>
```

Vue 156

```
from
  i := tab_any.lower
until
  i > tab_any.upper
loop
  a ?= tab_any.item(i)
   if a /= Void  then
     io.put_real(a.prix_ttc)
   else
     p ?= tab_any.item(i)
     io.put_real(p.x)
   end
  io.put_newline
  i := i + 1
end
```

## 22 Hériter pour implanter

Parmi les utilisations possibles du mécanisme d'héritage, il en est une qu'il faut absolument présenter car elle est naturellement (et pernicieusement) alléchante. L'idée est simple : une pile est composée entre autres d'un tableau (cf. classe PILE de la vue 114) de la classe ARRAY, pourquoi ne pas hériter de ladite classe ARRAY pour implanter la classe PILE ? Après tout, si l'on n'y regarde pas de trop près, une pile *est une sorte de* tableau !

Cette idée est mise en œuvre sur les vues 157, 158, 159 et 160 qui donnent la définition de la classe PILE_MOCHE.

Bien sûr, une telle pile peut être utilisée exactement de la même façon que l'on utilise une pile instance de la classe PILE de la vue 114. Partout où l'on utilise la classe PILE (comme sur la vue 118 par exemple), on peut également utiliser la classe PILE_MOCHE. Cependant, comme cette classe hérite de la classe ARRAY, il faut bien être conscient du fait que toutes les opérations de ARRAY sont héritées (vue 161). On peut donc faire n'importe quoi dans une PILE_MOCHE.

*Une pile est une sorte de tableau ...*

## Hériter pour implanter

Vue 157

```
class PILE_MOCHE[T]
inherit
  ARRAY[T]
     rename make  as make_array
     export {NONE} make_array
  end
creation {ANY}
  make
feature {ANY}
  nb_elements : INTEGER
```

Vue 158

```
feature {ANY} --  Constructeur :
  make  is
      do
         make_array(1,2)
        nb_elements := 0
      ensure
        vide
      end -- make
feature {ANY} --  Consultations :
  vide : BOOLEAN  is
      do
        Result := (nb_elements = lower - 1)
      end -- vide
```

```
  sommet : T  is
      require
        not vide
      do
        Result := item(nb_elements)
      end -- sommet
feature {ANY} --  Modifications :
  empiler (x : T)  is
      do
        nb_elements := nb_elements + 1
        force(x,nb_elements)
      ensure
        not vide
        sommet = x
        nb_elements = ( old nb_elements) + 1
      end -- empiler
```

Vue 159

```
  depiler  is
      require
        not vide
      do
        nb_elements := nb_elements - 1
      ensure
        nb_elements = ( old nb_elements) - 1
      end -- depiler
invariant
  nb_elements >= 0
  upper >= nb_elements
end --  class PILE_MOCHE
```

Vue 160

*Une* PILE_MOCHE *est une* PILE *:*

```
local
   pm : PILE_MOCHE[INTEGER]
do
   create pm.make
   pm.empiler(1)
   io.put_int(pm.sommet)
```

Vue 161

*Une* PILE_MOCHE *est un* ARRAY *:*

```
   pm.put(0,1)
   pm.reindex(2)
```

**Une PILE_MOCHE est moche**

## 22.1 Cohérence locale – Cohérence globale

Même si on pense à changer le statut d'exportation des opérations qui ne sont pas souhaitables (vue 162), il est toujours possible de «bricoler» directement la pile en utilisant une variable de type statique ARRAY (vue 163).

L'exemple d'utilisation de la classe PILE_MOCHE de la vue 163 est un exemple «d'incohérence globale» d'un programme Eiffel. Pourquoi dit-on qu'il y a incohérence «globale» et non pas incohérence tout court ? Réponse : chaque instruction de la vue 163, prise **une à une** est parfaitement légale. On dit dans ce cas que le programme respecte la «cohérence locale». Et pourtant, force est de constater qu'il est possible dynamiquement, d'appliquer sur une instance de la classe PILE_MOCHE des opérations statiquement non exportées. Ceci explique l'utilisation du terme «incohérence globale».

Une notation spéciale dans la clause **export** permet d'éviter la longue énumération de primitives de la vue 162. La nouvelle version de la classe PILE_MOCHE de la vue 164 utilise la notation en question. Nota : cela ne règle en rien le problème d'incohérence globale.

Je n'ai même pas essayé de définir une version de la classe PILE_TRES_MOCHE, héritant à la fois de la classe ARRAY pour avoir le tableau et héritant aussi de la classe INTEGER pour avoir l'indice.

La redéfinition d'une primitive peut elle aussi amener à une situation d'incohérence globale (vue 165). Ce genre de vérifications (pas si évidentes que ça !) sont rarement effectuées par les compilateurs du commerce.

Vue 162

```
class PILE_MOINS_MOCHE[T]
inherit
  ARRAY[T]
     rename make  as make_array
     export {NONE} make_array, resize, reindex,
            clear_all, wipe_out, put, force, insert,
            remove, move, lower, upper, count, size,
            empty, all_cleared, to_external
  end
...
```

Vue 163

```
local
  pm : PILE_MOINS_MOCHE[INTEGER]
  a : ARRAY[INTEGER]
do
  ...
   if vitesse_du_vent = 3  then
     a := pm
   else
     create a.make(2,3)
   end
  a.put(0,1)
  a.reindex(2)
```

## Incohérence globale

*Le mot clé* **all** *dans la clause export permet d'éviter une longue énumération de primitives.*

Vue 164

```
class PILE_MOINS_MOCHE[T]
inherit
  ARRAY[T]
    rename make  as make_array
    export {NONE}  all
  end
...
```

*ce qui ne règle pas le problème d'incohérence globale de la vue 163*

## Redéfinition et cohérence globale

Vue 165

```
class ALPHA             |class GAMMA
feature                 |feature
end -- class ALPHA      |   test: ALPHA
-----------------------|   create is
class BETA              |      do
inherit ALPHA           |         create test
creation                |      end
   fred                 |end -- class GAMMA
feature                 |--------------------------------
   fred is              |class DELTA
      do -- ...         |inherit GAMMA redefine test end
      end               |feature
end -- class BETA       |        test: BETA
                        |end -- class DELTA
```

# 23 Classe abstraite

La notion de classe abstraite est à rapprocher de celle de type abstrait algébrique. Une classe abstraite ne peut pas être instanciée et certaines primitives ne sont pas définies (ces primitives sont en quelque sorte l'équivalent des constructeurs dans un type abstrait algébrique). Syntaxiquement, il suffit de faire précéder la définition de la classe par le mot clé **deferred**. Le même mot clé est utilisé pour les primitives que l'on ne souhaite pas définir en remplacement de la partie **do**. Les vues 166 et 167 montrent la classe abstraite COMPARABLE extraite de la bibliothèque.

Il est donc interdit d'instancier la classe COMPARABLE. Cette classe doit être utilisée par le biais de l'héritage, la sous-classe étant chargée de définir au moins l'opération **infix** `"<"` dont l'implantation a été retardée. C'est ce qui est fait dans la classe STRING de la bibliothèque (vue 168). Dans cette classe, la fonction `compare` est aussi redéfinie pour des raisons d'efficacité évidentes.

De nombreuses autres classes de la bibliothèque héritent directement ou indirectement de la classe COMPARABLE comme par exemple INTEGER, REAL ou CHARACTER. L'intérêt d'une classe abstraite est donc évident : mettre en facteur des algorithmes communs. Si vous définissez une nouvelle classe d'objet sur lesquels il existe un ordre total, il convient donc d'hériter de la classe COMPARABLE.

Si on hérite d'une classe abstraite (**deferred**), cette classe reste abstraite (même sans le mot clé **deferred**) si elle ne donne pas une définition à **toutes** les primitives dont l'implantation a été retardée (**deferred**). De toute évidence, une classe abstraite ne doit pas avoir de constructeurs (pas de clause de **creation**).

Vue 166

```
deferred class COMPARABLE
feature {ANY}
 infix "<" (other : like Current) : BOOLEAN is
    require
      other_not_void : other /= Void
    deferred
    ensure
      anti_symmetric: Result implies not (other < Current)
    end
infix "<=" (other : like Current) : BOOLEAN is
   require
     other_not_void : other /= Void
   do
     Result := not (other < Current)
   end
```

```
infix ">" (other : like Current) : BOOLEAN is
   require ... do ... end
infix ">=" (other : like Current) : BOOLEAN is
   require ... do ... end
compare (other : like Current) : INTEGER is
      -- Compare Current with `other'.
      -- '<' <==> Result < 0
      -- '>' <==> Result > 0
      -- Otherwise Result = 0
   require ... do ... end
end -- class COMPARABLE
```

Vue 167

**COMPARABLE est une classe ABSTRAITE**

```
class STRING
inherit
  COMPARABLE
     redefine compare
   end
....
infix "<" (other : STRING) : BOOLEAN is
     do ... end
compare (other : STRING) : INTEGER is
     do ... end
...
end -- class STRING
----------------------------------------------------
local
  s : STRING
do
   if (s < "toto") or (s >= "abc") then ...
```

Vue 168

## 24 Généricité contrainte

Dans certains cas, on souhaite pouvoir définir une classe en la paramétrant par une autre classe (comme dans le cas de la classe PILE[T] de la vue 114). Cependant, on est souvent obligé de faire certaines suppositions sur les opérations du type en paramètre : les éléments sont-ils ou non comparables ? possèdent-ils ou non une opération d'impression ? etc.

Par exemple, si on souhaite écrire une classe capable de gérer des ensembles de n'importe quoi, il faut être en mesure de comparer les éléments avec autre chose que l'opérateur de comparaison physique (`=`). Or, avec la généricité non contrainte, seul cet opérateur est utilisable sur les objets du type paramètre.

La notation Eiffel pour la généricité contrainte évite l'énumération des opérations que l'on suppose avoir dans la classe paramètre. Les opérations supposées présentes sont mentionnées par le biais de l'héritage (vue 169).

Dans la liste des paramètres génériques formels, la classe à droite de la flèche, `"->"`, doit effectivement exister. Toutes les opérations de cette classe peuvent être utilisées dans la classe générique pour manipuler les objets du type paramètre.

Au moment de la déclaration d'une variable de la classe SORTED_LIST (c'est à dire au moment de l'instanciation de la classe générique), le compilateur vérifie que le paramètre générique effectif est bien une classe qui hérite de la classe COMPARABLE.

La vue 170 montre comment on utilise la classe SORTED_LIST. Au moment de l'instanciation, le paramètre booléen du constructeur `make` indique que l'on ne veut pas mettre plusieurs occurences d'un même élément (au sens `is_equal` du terme) dans la liste triée. Au fur et à mesure des adjonctions, les éléments sont insérés en bonne place relativement à la relation d'ordre effectivement implantée dans la classe correspondant au paramètre générique effectif (STRING dans le cas de l'exemple). La liste est constamment (et automatiquement) maintenue triée.

### Généricité contrainte

*Définition d'une classe qui maintient automatiquement triée une liste d'éléments comparables.*

Vue 169

```
class SORTED_LIST [G -> COMPARABLE]
     ...
      if unG < Current.item(i)  then
     ...
end --  class SORTED_LIST
```

G : paramètre générique formel

COMPARABLE : classe existante fixant les opérations utilisables sur les objets de la classe G

Vue 170

```
local
 copains : SORTED_LIST[STRING]
 i: INTEGER
do
 create copains.make(True)
 copains.add("raymond")
 copains.add("albert")
 copains.add("lucien")
  from -- Impression dans l'ordre alphabétique :
    i := 1
  until
    i > copains.upper
  loop
    io.put_string(copains.item(i))
    io.put_newline
    i := i + 1
  end
```

## 24.1 Limitation

Il est interdit d'instancier le paramètre générique formel d'une classe générique (vue 171). Ce qui est cohérent avec le choix (discutable) de lier généricité et héritage.

Limitation : *Il est interdit d'instancier la classe désignée par le paramètre générique formel.*

Vue 171

```
class POLYNOME[K -> COEFF]
...
      local
        k : K
      do
        create k...
        ↑ INTERDICTION  :-(
...
end --  class POLYNOME
```

**Exercice 50** Construire l'interface d'une classe abstraite de manipulation de MATRICEs. Implanter ensuite de diverses façons cette classe abstraite en mettant le plus possible d'opérations en facteur au niveau de la classe MATRICE.

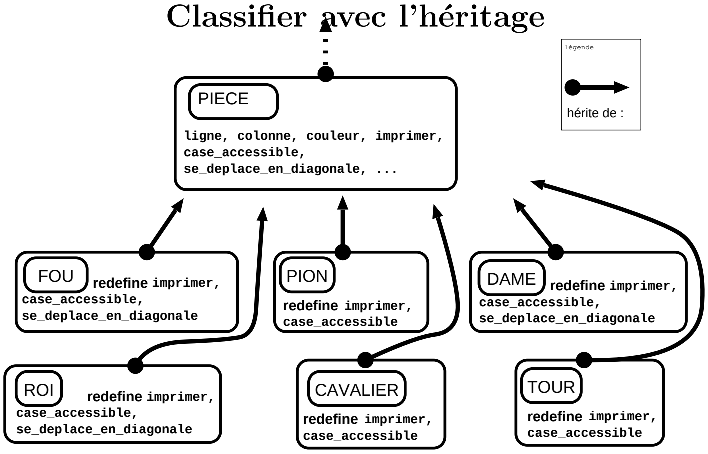
# 25 Classifier en utilisant l'héritage

Dès le premier moment de la conception d'un logiciel, sachant que l'on va manipuler des objets ayant un bon nombre de caractéristiques communes, on peut songer à introduire une entité abstraite pour mettre en facteur ces propriétés communes. Ce qui est spécifique à chacune des catégories sera traité dans des sous-classes différentes.

Par exemple, dans le cadre de la réalisation d'un jeu d'échecs, on peut décider de la classification donnée sur la figure 172.

## Classifier avec l'héritage

Vue 172




Vue 173

```
...
   unePiece : PIECE
   uneCase : CASE
...
   if unePiece.se_deplace_en_diagonale  then
...
   if unePiece.case_accessible(uneCase)  then
...
   unePiece.imprimer
...
```

*La liaison dynamique évite d'écrire explicitement les tests concernant la catégorie de pièce manipulée*

L'objectif d'une classification est de pouvoir éviter l'écriture de conditionnelles en utilisant la liaison dynamique. Supposons par exemple qu'au jeu d'échecs, seuls les fous, les rois et les reines se déplacent en diagonale. Il est possible d'implanter le prédicat `se_deplace_en_diagonale` sans jamais écrire une conditionnelle (vues 174 et 175).

```
deferred  class PIECE
feature {ANY}
 se_deplace_en_diagonale : BOOLEAN  is
     deferred
     end -- se_deplace_en_diagonale
...
end --  class PIECE
```

Vue 174

```
class FOU
inherit PIECE
feature {ANY}
 se_deplace_en_diagonale: BOOLEAN  is True
...
end --  class FOU
```

Vue 175

```
class TOUR
inherit PIECE
feature {ANY}
 se_deplace_en_diagonale: BOOLEAN  is False
...
end -- class TOUR
--------------------------------------------------------
class TOUR -- VARIANTE
inherit PIECE
feature {ANY}
 se_deplace_en_diagonale : BOOLEAN  is
    do
       Result := False -- Instruction inutile :-(
    end
...
end --  class TOUR
```

Un variante consiste à utiliser la redéfinition (`redefine`) de la primitive `se_deplace_en_diagonale`. On place la définition la plus courante au niveau de la classe PIECE (vue 176 et 177).

```
deferred class PIECE
feature {ANY}
 se_deplace_en_diagonale : BOOLEAN is
     do
        -- False est le cas le plus courant.
     end -- se_deplace_en_diagonale
...
end -- class piece
```

Vue 176

```
-------------------------------------------------------

class TOUR
inherit PIECE
feature {ANY}
...
end -- class tour
```

```
class FOU
inherit
  PIECE
      redefine se_deplace_en_diagonale
   end
feature {ANY}
 se_deplace_en_diagonale: BOOLEAN is True
...
end -- class fou
```

Vue 177

**Exercice 51** Donnez une définition du prédicat `se_deplace_en_diagonale` en utilisant l'opérateur `?=`.

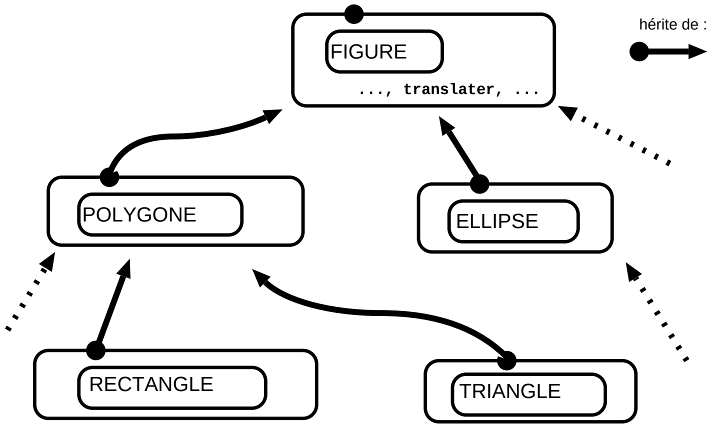
**Exercice 52** Imaginez les classes à mettre en œuvre pour la construction d'un éditeur interactif de figures composées d'éléments géométriques simples (triangles, rectangles, points, cercles, traits, ...). Quel est l'intérêt de la liaison dynamique dans ce cas ?

**Exercice 53** Envisagez l'ajout d'un nouvel élément géométrique pouvant faire partie d'une figure. Quelles sont les modifications à effectuer ?

Il existe rarement une classification hiérarchique idéale (cf. exemple de la classification des figures géométriques de la vue 178).

**Classification idéale ?**

Vue 178




# 26 Héritage multiple

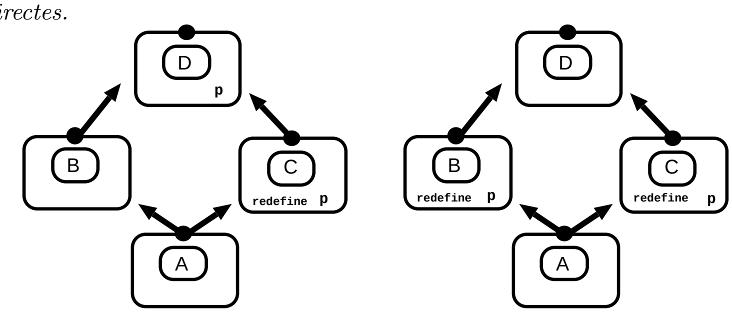
Certains langages de classes, dont Eiffel, autorisent une classe à avoir plusieurs superclasses directes. On dit dans ce cas qu'il y a possibilité d'héritage multiple.

Le problème des conflits d'héritage se pose immédiatement (vue 179).

La syntaxe de la clause **inherit** est relativement complexe (vue 181) et la compréhension de toutes les options n'est pas toujours facile ! Dans la mesure où l'on a la maîtrise complète d'une partie séparée du graphe d'héritage, il est à mon avis toujours possible d'éviter ces options complexes en procédant par factorisation et renommage manuels.

Vue 179

**Héritage multiple** : *une classe possède plusieurs superclasses directes.*




**Conflit** : *dans la classe* A *car on ne sait pas laquelle des deux primitives* p *il faut choisir.*

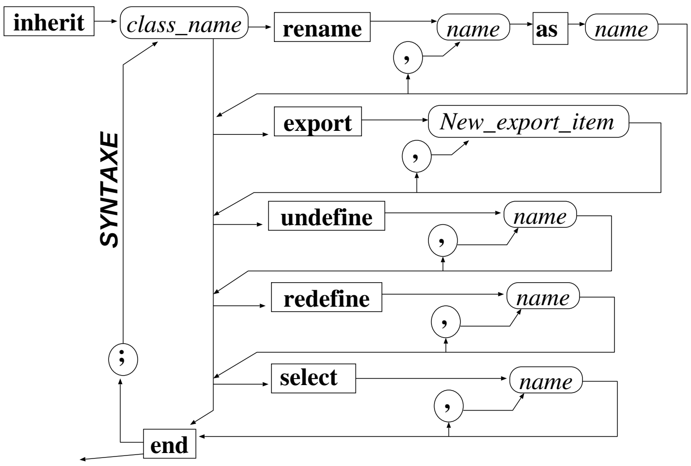
## Résolution d'un conflit d'héritage

Vue 180

```
class A
inherit
  B undefine p
   end
  C
   end

...
end -- class A
```

*Pour choisir la primitive* p *de la classe* C.

Vue 181




# 27 Comparer et dupliquer des objets

## 27.1 Comparer avec `equal/is_equal`

La définition de la fonction `equal` est gelée dans GENERAL (cf. définition théorique de la vue 182). Un problème se pose dans le cas ou l'on souhaite comparer deux représentations différentes d'une même abstraction. Par exemple, il est raisonnable d'espérer un résultat vrai si l'on compare (en utilisant `equal`) deux collections contenant chacune le même nombre d'éléments, sachant que les éléments en question sont eux mêmes identiques deux à deux. La solution préconisée consiste à donner une nouvelle définition de la méthode `is_equal` dans la classe COLLECTION (vues 183 et 184). De manière indirecte, cette redéfinition influe sur le résultat donné par la fonction prédéfinie `equal`.

Lorsqu'une classe est bien conçue, sauf exception, on n'utilise jamais la fonction `deep_equal`.

**Exercice 54** Faire en sorte que la fonction prédéfinie `equal` permette la comparaison de polynômes indépendamment de la représentation choisie (polynôme creux, polynôme dense).

## 27.2 Dupliquer avec `clone/twin/copy`

Le même genre de problème se pose en ce qui concerne la duplication d'objets. Par exemple, suite à un `clone` sur un TRIANGLE, on peut souhaiter obtenir un triangle complètement indépendant du modèle de départ. La solution à retenir est du même ordre que précédemment. Même si la définition de `clone` est gelée (vue 185), il est possible d'influencer le résultat de cette fonction prédéfinie par redéfinition de la méthode `copy` (vue 186).

Remarque : il est impossible de donner une version complètement écrite en Eiffel de la fonction prédéfinie `clone` (vue 185). Cette fonction doit malheureusement être traitée de manière spécifique par le compilateur.

Finalement, lorsqu'une classe est bien conçue, il n'est jamais nécessaire d'utiliser les primitives `deep_*`. Par exemple, la classe STRING possède une définition propre des méthodes `copy` et `is_equal` (vue 187).

**Exercice 55** Redéfinir la méthode `copy` pour les différentes représentations de polynômes.

## Comparer deux objets

Vue 182

```
class GENERAL
  ...
feature {NONE}
frozen equal(o1: ANY; o2: ANY):BOOLEAN  is
      --  S'agit-il d'objets identiques ?
      do
         Result :=
             (o1 = Void  and o2 = Void)  or
             (o1 /= Void  and o2 /= Void
              and  then o1.is_equal(o2))
      end
...
```

*Modifier le comportement de la fonction* `equal`.

## Ne jamais utiliser deep_equal !

Vue 183

```
deferred class COLLECTION[G]
inherit ANY redefine is_equal end
feature {ANY}
  is_equal(other: COLLECTION[G]): BOOLEAN  is
      local
         i1, i2: INTEGER
      do
         if other.count = count  then
```

Vue 184

```
            from
               Result := True
               i1 := lower
               i2 := other.lower
            until
               i1 > upper
            loop
                if equal(item(i1),other.item(i2))  then
                 i1 := i1 + 1
                 i2 := i2 + 2
                else
                 Result := False
                 i1 := upper + 1
                end
            end
         end
      end
```

## Dupliquer un objet

Vue 185

```
class GENERAL
 ...
feature {NONE}
frozen clone(other: ANY): like other  is
    --  When argument 'other' is Void, return Void
    --  otherwise return 'other.twin'.
    do
        if other /= Void  then
             Result := other.twin
        end
    ensure
       equal(Result,o1)
    end

frozen twin: like Current is
    external "SmartEiffel"
    end
```

Vue 186

```
class TRIANGLE
inherit
   ANY  redefine copy  end
...
feature {ANY}
  copy(t2: TRIANGLE)  is
      do
        p1 := t2.p1.twin
        p2 := t2.p2.twin
        p3 := t2.p3.twin
      end
...
```

**Ne jamais utiliser `clone`/`deep_clone`/`deep_copy` !**

Vue 187

```
class STRING
inherit
  COMPARABLE
     redefine
       is_equal, infix "<", compare
     end
  HASHABLE
     redefine
       is_equal, hash_code
     end
...
```

# 28 Concevoir des programmes efficaces

L'efficacité d'un programme dépend essentiellement de la complexité des algorithmes mis en œuvre. Ceci étant, pour finaliser une application réellement efficace, il me semble important de maîtriser dès la phase de conception deux aspects essentiels : l'utilisation possible de l'aliasing ainsi que, de manière plus générale, la consommation mémoire du système. En effet, avec les opérations d'entrées/sorties, l'allocation dynamique de mémoire (i.e. la création d'objets dans le tas) est l'opération élémentaire qui est de loin la plus coûteuse. Il est donc très important de minimiser les allocations dans le tas[1].

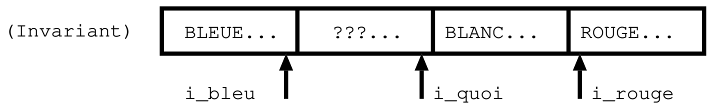
## 28.1 Utilisation de l'aliasing

L'aliasing est le fait de désigner un unique et même objet par plusieurs chemins (plusieurs *alias*) différents. Ce phénomène se produit par exemple, si deux variables différentes référencent le même objet, ou, par exemple, si plusieurs cases d'un même tableau référencent le même objet. Les vues 188, 189 et 190 montrent comment il est possible d'utiliser le phénomène d'aliasing pour optimiser l'implantation de l'algorithme du drapeau tricolore. Rappelons que le problème consiste à trier un tableau contenant trois couleurs différentes à l'aide d'une seule itération ayant autant de pas (i.e. autant de répétitions) que le nombre d'éléments du tableau. La vue 188 montre l'initialisation de l'algorithme par rapport à

[1] Les allocations dans la pile ne coûtent pratiquement rien. Par exemple, si vous avez 2 ou 4 variables locales en plus ou en moins dans une routine non récursive, le temps d'exécution ne changera quasiment pas. Dans le cas d'une routine récursive, le temps d'exécution ne changera pratiquement pas non plus sauf si la taille supplémentaire de la pile induit un *swap* de mémoire sur disque.

l'invariant d'itération correspondant. Sur le schéma mémoire de la vue 189 on peut constater le phénomène d'aliasing : les trois chaînes de la classe STRING sont toutes les trois référencées trois fois. Enfin, sur la vue 190, l'algorithme correspondant à l'invariant donné précédemment. L'intérêt de l'utilisation de l'aliasing dans cet exemple est double : d'une part on minimise le nombre d'objets de la classe STRING à créer (trois chaînes dans tous les cas) et d'autre part, il est possible d'utiliser l'opérateur élémentaire de comparaison `=` qui est beaucoup plus rapide que la fonction `is_equal`. Bien entendu, l'utilisation de l'opérateur `=` n'est rendu possible que par le fait que l'aliasing est maximal (il existe une et une seule chaîne `"RoUgE"` par exemple). De manière générale, l'expérience montre que le gain que l'on peut espérer en utilisant l'aliasing est souvent très important. Nous utilisons intensivement l'aliasing dans le compilateur[2] ainsi que dans la bibliothèque graphique Vision. Ceci étant, il faut également garder à l'esprit que l'utilisation de l'aliasing est une pratique très délicate et l'aliasing est souvent considéré, à juste titre, comme une pratique dangereuse qu'il faut éviter[3]. Grâce au mécanisme d'assertions, il est souvent possible de poser les garde fous permettant de contrôler raisonnablement la bonne utilisation de l'aliasing. Par exemple, pour revenir au codage de l'algorithme du drapeau tricolore, on peut noter à ce sujet l'utilisation d'une clause **check** dans la branche par défaut de l'étude de cas (vue 190).

## Aliasing (exemple avec l'exercice du drapeau)



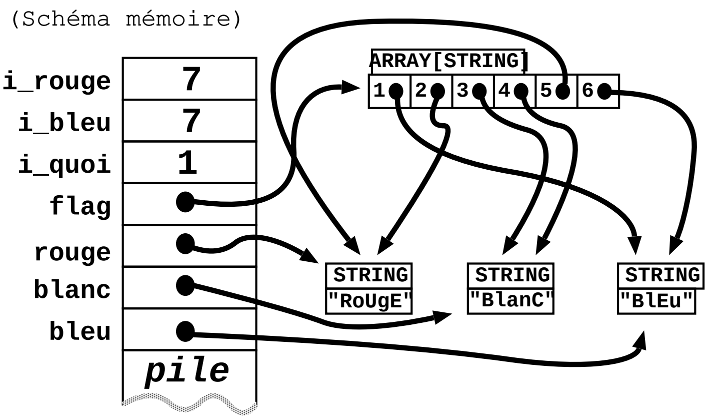

Vue 188

```
flag_sort is
   local bleu, blanc, rouge: STRING; flag: ARRAY[STRING]
         i_bleu, i_quoi, i_rouge: INTEGER; val_quoi: STRING
   do
      from
         bleu := "BlEu";   blanc := "BlanC";   rouge := "RoUgE"
         flag := << bleu, rouge, blanc, blanc, rouge, bleu >>
         i_bleu := flag.lower - 1
         i_quoi := flag.upper ; i_rouge := i_quoi + 1
      variant
         i_quoi - i_bleu
```

[2]Pour une étude détaillée de l'utilisation de l'aliasing dans les outils de compilation, vous pouvez télécharger l'article [ZC00] [ZC01] (*Coping with aliasing in the GNU Eiffel Compiler implementation*) à partir du site web de SmartEiffel.

[3]Fils de mécanicien, mon avis personnel consiste à dire qu'il est plus difficile de mettre au point le moteur d'une ferarri que le moteur d'une deux chevaux ! Pour revenir à l'informatique, je ne connais pas beaucoup de logiciels performants qui n'utilisent pas massivement l'aliasing.

Vue 189




Vue 190

```
    until   i_quoi = i_bleu
    loop
       val_quoi := flag.item(i_quoi)
       if val_quoi = blanc then
          i_quoi := i_quoi - 1
       elseif val_quoi = bleu then
          i_bleu := i_bleu + 1
          flag.swap(i_quoi, i_bleu)
       else
          check val_quoi = rouge end
          i_rouge := i_rouge - 1
          flag.swap(i_quoi, i_rouge)
          i_quoi := i_quoi - 1
       end
    end
 end -- flag_sort
```

## 28.2 Éviter les fuites de mémoire

Une fuite de mémoire (*memory leak*) se produit lorsque le système qui s'exécute perd l'accès à une donnée préalablement allouée dans le tas. La vue 191 est un exemple manifeste d'énorme fuite mémoire : `999999` objets de la classe POINT sont alloués dans le tas sans qu'aucune référence ne soit gardée vers ces POINTs. Notons qu'il n'est pas correct de parler de fuite de mémoire lorsque qu'un processus est équipé d'un ramasse-miettes puisque ce système de récupération automatique de la mémoire garde une référence sur tous les objets alloués. Ceci étant, même avec un ramasse-miettes performant, il faut essayer d'éviter de créer inutilement des objets. Il faut être économe en ce qui concerne la création d'objets et certaines fuites de mémoire sont beaucoup moins évidentes que celle de la vue 191.

La vue 192 montre quelques fuites de mémoire pas forcément évidentes. Pour chaque fuite, une solution est proposée en bas de la même vue. La fuite `#1` est liée au fait qu'une chaîne manifeste est créée lors de chaque évaluation de l'expression `"Memory leak"`. La solution pour cette fuite `#1` repose sur l'utilisation du mot clef **once** directement devant cette chaîne explicite (ce raccourci d'écriture est également autorisé devant les objets `U"foo"` de la classe UNICODE_STRING). La fuite `#2` est corrigée en évitant de convertir l'entier en une STRING avant de l'imprimer. La fuite `#3` est corrigée en utilisant `append_in` de la classe INTEGER à la place de `append` de la classe STRING. Pour détecter les fuites de la catégorie `#1`, le compilateur dispose depuis peu d'une nouvelle option : `-manifest_string_trace` (se reporter à la documentation disponible sur le site web de SmartEiffel pour les détails). Pour les autres fuites de mémoire et de manière générale, pour mesurer la consommation mémoire par catégorie d'objets Eiffel alloués, le compilateur dispose également d'une option qui demande au ramasse-miettes de faire état des objets alloués (cf. option `-gc_info`).

**Exercice 56** Combien d'objets de la classe STRING sont alloués lors de l'exécution de l'instruction suivante :

```
print( "2" + (2).to_string + "=4" )
```

Donnez une suite d'instructions permettant d'afficher le même message en minimisant le nombre d'allocations de STRINGs.

## Une (grosse) fuite de mémoire

Vue 191

```
from
      i := 0
until
      i = 1000000
loop
      -- Memory leak here:
      create {POINT} variable.make(1,1)
      i := i + 1
end
```

## Fuites de mémoire moins évidentes

Vue 192

```
io.put_string( "Memory leak" )           -- Memory leak #1
io.put_string( an_integer.to_string )    -- Memory leak #2
a_string.append( an_integer.to_string ) -- Memory leak #3
```

### —— Solutions ——

```
io.put_string( once "Memory leak")       -- Solution #1
io.put_integer( an_integer )             -- Solution #2
an_integer.append_in( a_string )         -- Solution #3
```

# 29 Appel de la super-méthode

Pour faire appel à la superméthode (i.e. la version héritée d'une méhode que l'on est en train de redéfinir), il existe une construction nommée `Precursor` en Eiffel. Le mot clef `Precursor` n'est utilisable qu'à l'intérieur des méthodes pour lesquelles il existe une indication de redéfinition (clause `redefine`). L'appel de `Precursor` dans une méthode donnée à la même signature que la méthode qui l'englobe. Ceci permet de faire l'appel de la version précédemment définie de la méthode en question. Sur l'exemple de la vue 193 le calcul de la nouvelle définition de `prix_ttc` dans ARTICLE_DEUX_GRAND_LUXE consiste à multiplier par deux le résultat du calcul de `prix_ttc` de la classe ARTICLE_DE_LUXE. L'exemple de la vue 194 montre comment il est possible d'utiliser ce mécanisme dans le cas d'une procédure avec deux arguments (i.e. l'appel de `Precursor` correspond à un appel de procédure ayant la même signature).

### Precursor : appel de la superméthode

Vue 193

```
class ARTICLE_DEUX_GRAND_LUXE
inherit
  ARTICLE_DE_LUXE
      redefine prix_ttc
   end

-- ...
-- ...

  prix_ttc: REAL  is
      --  De grand luxe, donc DEUX fois plus cher !
      do
        Result := 2 * Precursor
      end -- prix_ttc
end --  class ARTICLE_DEUX_GRAND_LUXE
```

Vue 194

```
class FOO
inherit
  ARTICLE
     redefine bar
   end

-- ...
-- ...

  bar (arg1: CHARACTER; arg2: REAL)  is
     do
        -- Code que l'on souhaite ajouter avant l´appel à la superméthode.
        Precursor('A', 1.5) -- ← Appel de la superméthode.
        -- Code que l'on souhaite ajouter après l´appel à la superméthode.
     end -- bar
end --  class ARTICLE_DE_GRAND_LUXE
```

# 30 Conclusion - Remarques

Il ne faut par confondre les relations conceptuelles qui existent entre les types (spécialisation, abstraction, représentation, union de types) avec une relation d'héritage entre deux classes. Exemple si B est une classe qui hérite de A, on ne sait pas grand chose sur la relation qui existe entre le type A et le type B. Ces deux classes peuvent avoir des interfaces complètement différentes !

Vue 195

**SPÉCIALISATION**

**ABSTRACTION/REPRÉSENTATION**

**UNION DE TYPES**

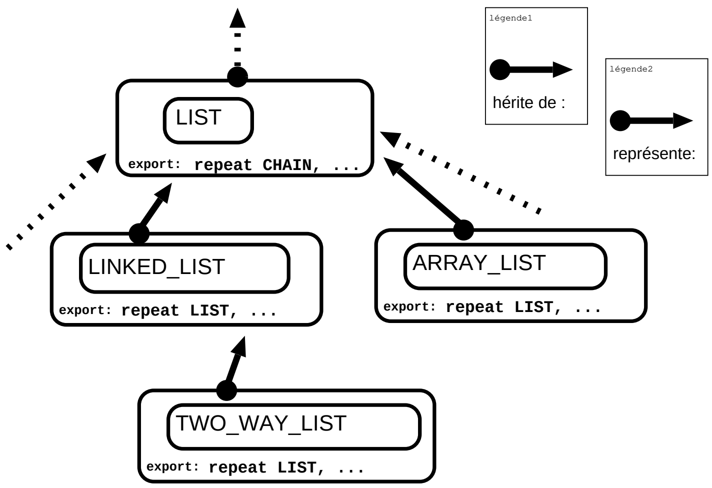
Niveau conceptuel (phase de conception)

$\uparrow$———————————————————$\downarrow$

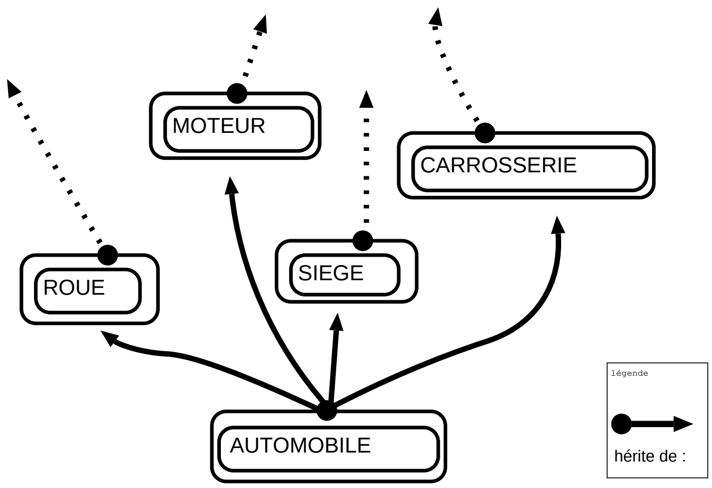
Mécanisme d'un langage de programmation

**HÉRITAGE**

Vue 196



Vue 197




## composition

Vue 198

```
class AUTOMOBILE
-- N'HÉRITE DE RIEN.
creation
  make
feature

  roueAvD, roueAvG, roueArD, roueArG : ROUE
  unMoteur : MOTEUR
  caisse : CARROSSERIE
  interieur : SIEGE
  ...
end -- class AUTOMOBILE
```

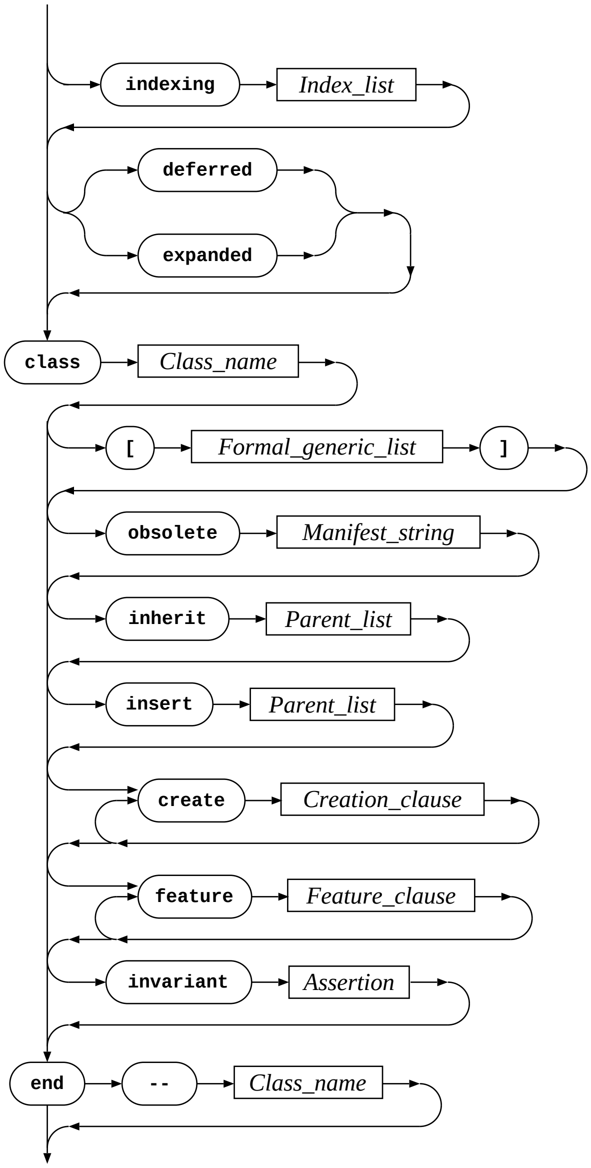
```
class A
    inherit B
    ...
end -- class A
```

Vue 199

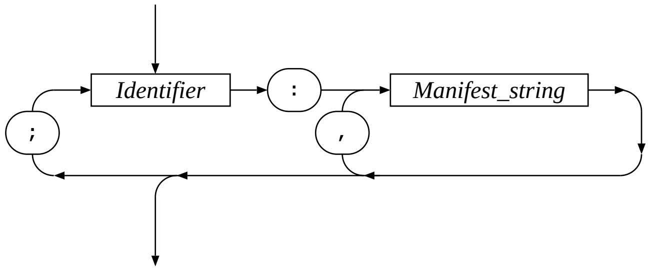
### S'agit il vraiment d'une sorte de B ?

# 31 Diagrammes syntaxiques

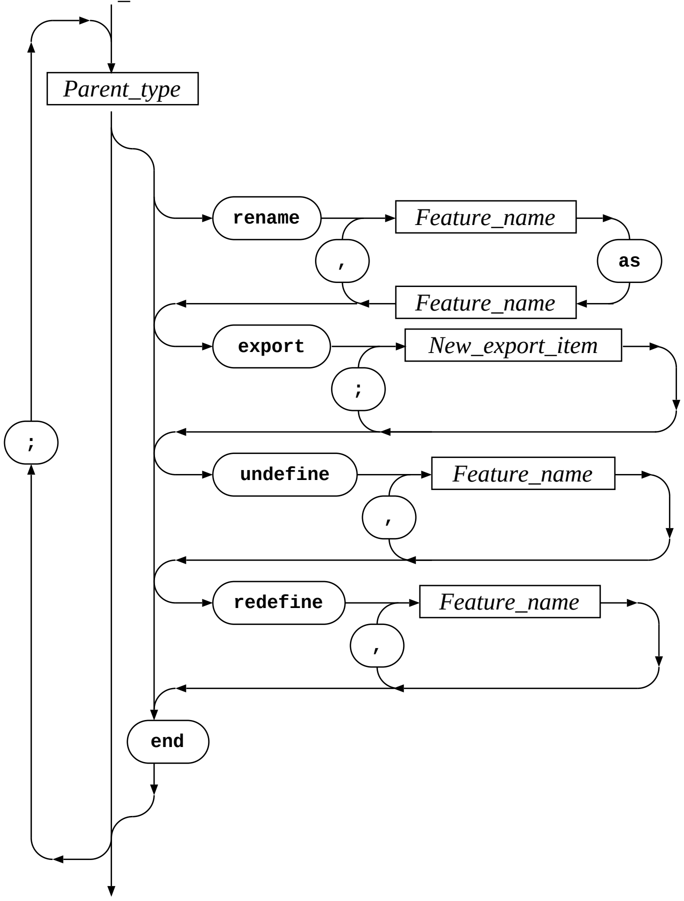
*Class_declaration*



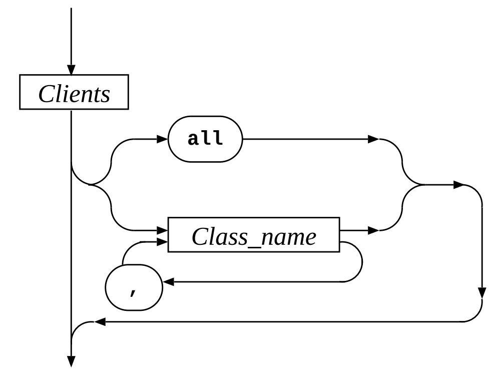

*Index_list*



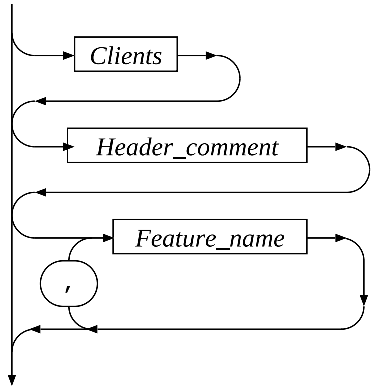

*Parent_list*



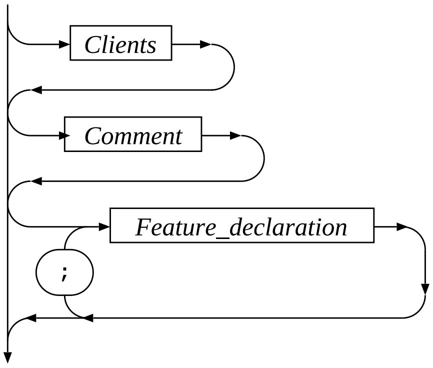
*New_export_item*



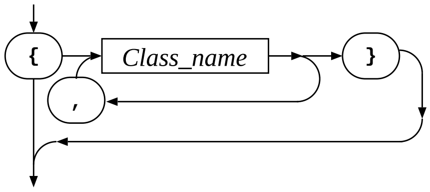

*Creation_clause*



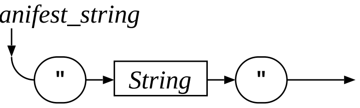

*Feature_clause*



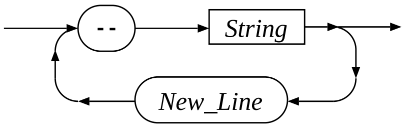

*Clients*



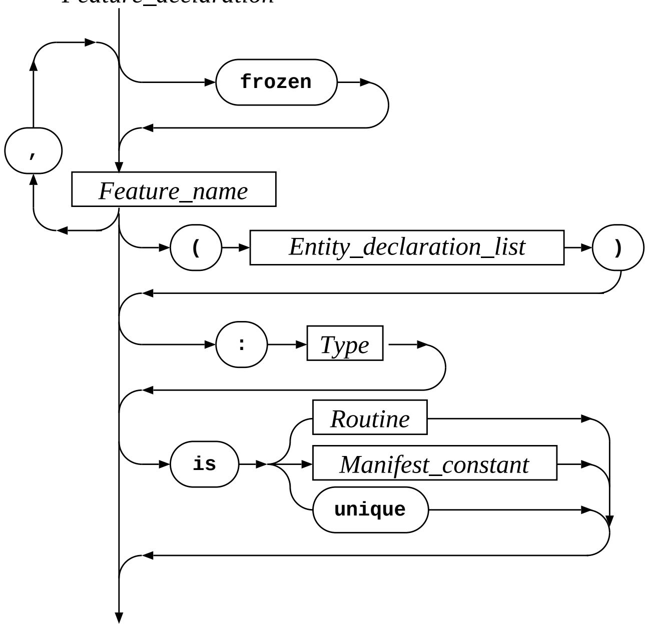

*Manifest_string*



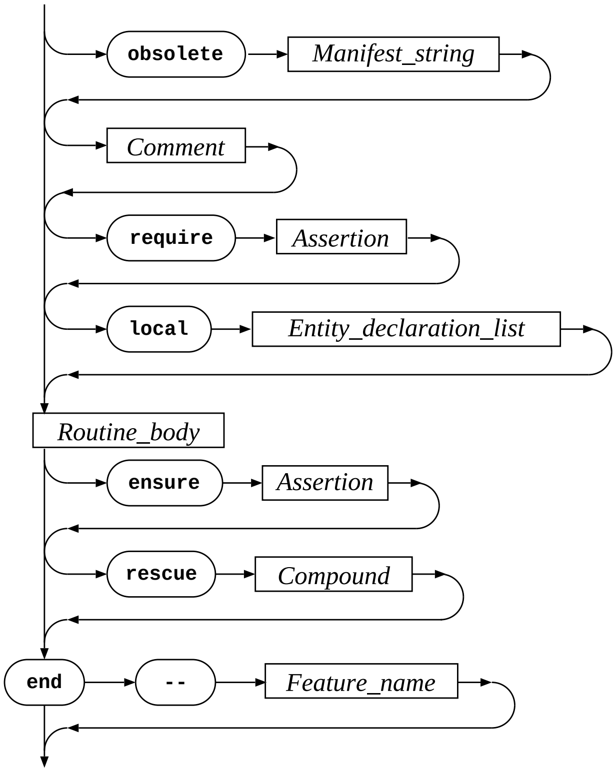

*Comment*



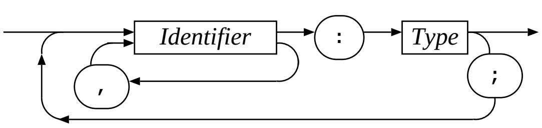

*Feature_declaration*



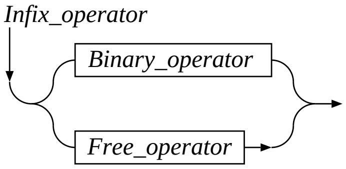

*Routine*



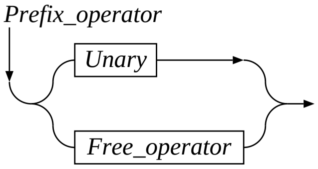
*Entity_declaration_list*



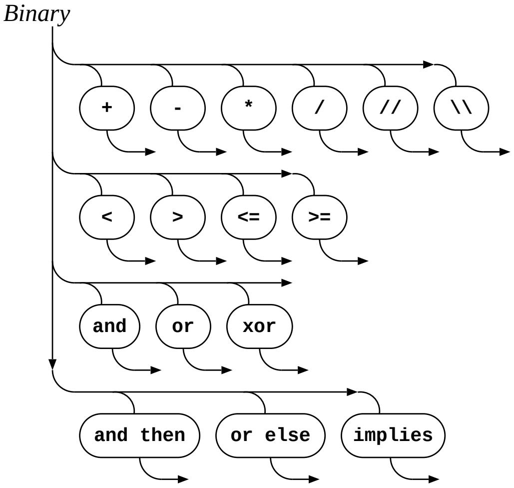

*Infix_operator*



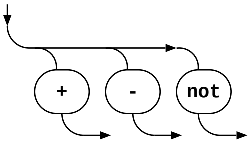

*Prefix_operator*



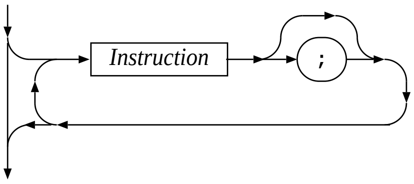

*Binary*



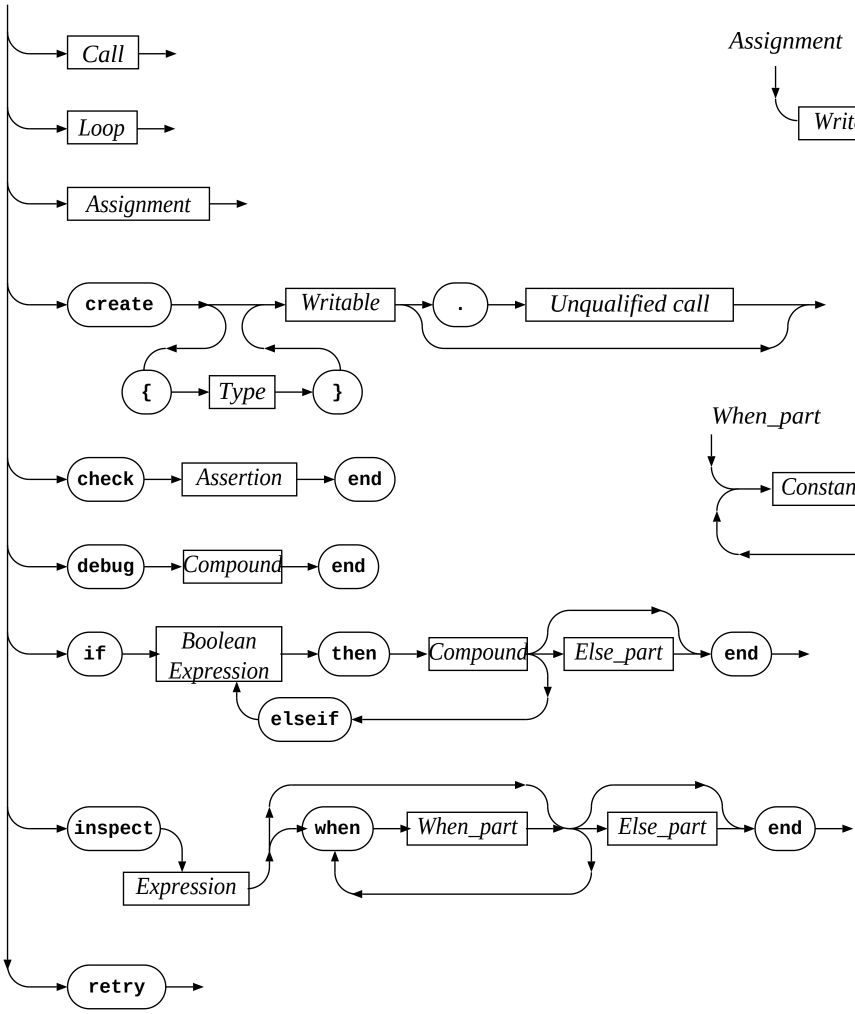

*Unary*



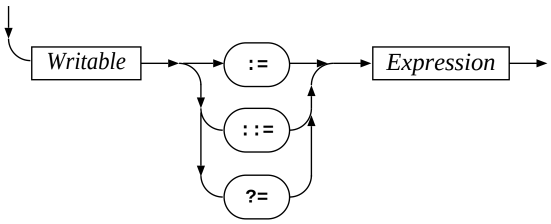

*Compound*



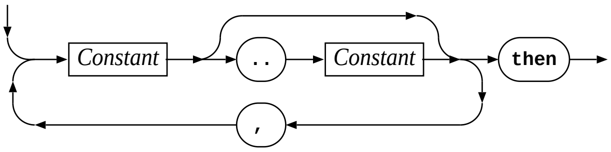

*Instruction*



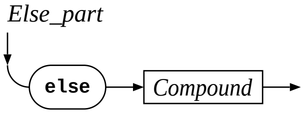

*Assignment*



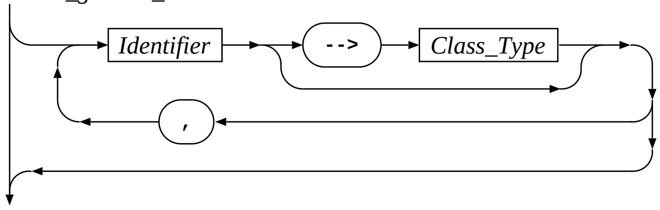

*When_part*



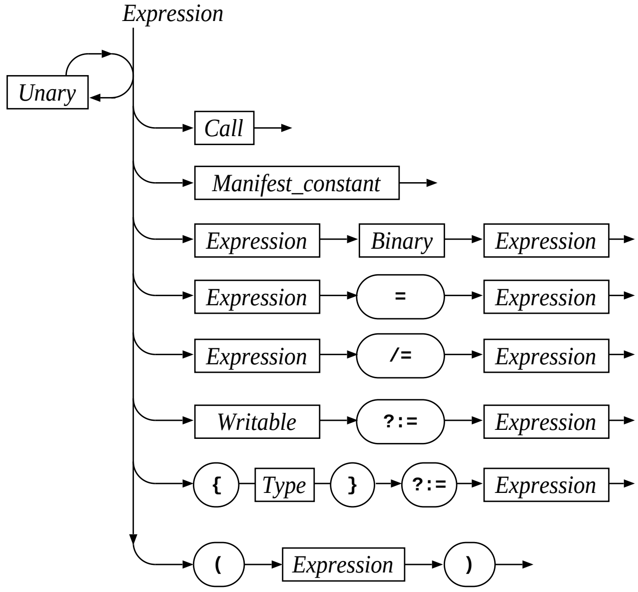

*Else_part*



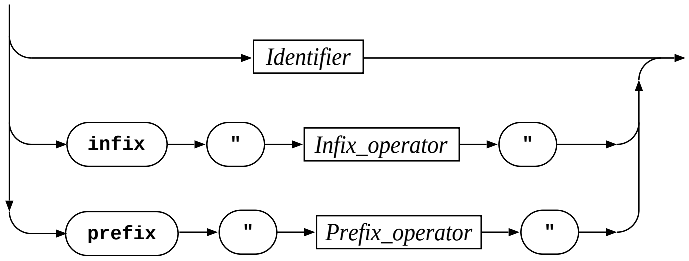
*Formal_generic_list*

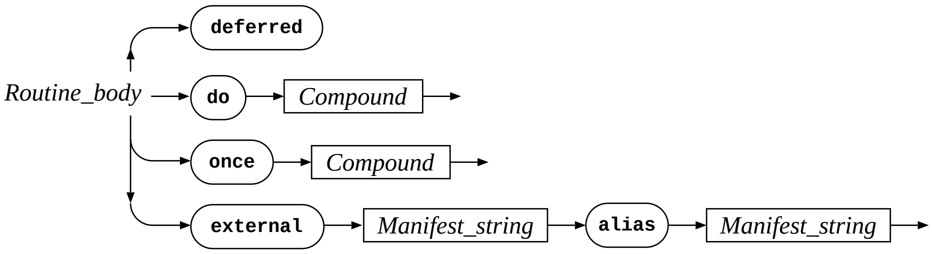



*Expression*

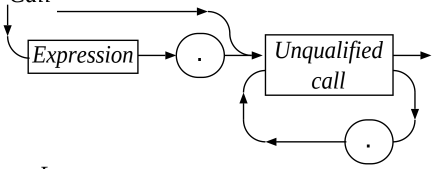



*Feature_name*

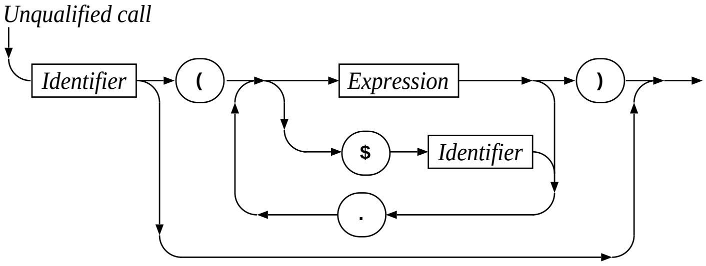


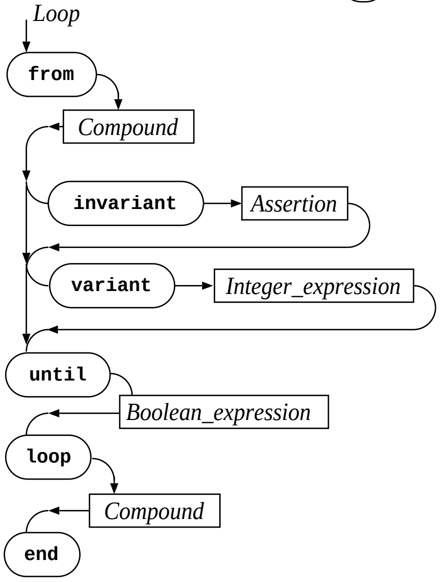

*Call*



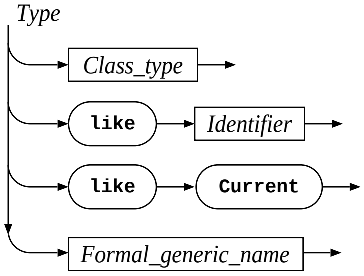

*Unqualified call*




*Loop*




*Type*



## Références

[CCZ97] S. Collin, D. Colnet, and O. Zendra. Type Inference for Late Binding. The SmallEiffel Compiler. In *Joint Modular Languages Conference, JMLC'97*, volume 1204 of *Lecture Notes in Computer Sciences*, pages 67–81, Lintz, Austria, 1997. Springer Verlag. LORIA 98-R-056. Disponible sur `http ://www.loria.fr/~colnet/publis/index-us.html`.

[CCZ98] D. Colnet, P. Coucaud, and O. Zendra. Compiler Support to Customize the Mark and Sweep Algorithm. In *ACM SIGPLAN International Symposium on Memory Management (ISMM'98)*, pages 154–165, Vancouver, BC, Canada, October 1998. LORIA 98-R-233. Disponible sur `http ://www.loria.fr/~colnet/publis/index-us.html`.

[CZ99] D. Colnet and O. Zendra. Optimizations of Eiffel programs : SmallEiffel, The GNU Eiffel Compiler. In *29th conference on Technology of Object-Oriented Languages and Systems (TOOLS Europe'99), Nancy, France*, pages 341–350. IEEE Computer Society PR00275, June 1999. LORIA 99-R-061. Disponible sur `http ://www.loria.fr/~colnet/publis/index-us.html`.

[JTM99] J. M. Jézéquel, M. Train, and C. Mingins. *Design Patterns and Contracts*. Addisson-Wesley, 1999. ISBN 0-201-30959-9.

[MNC+89] G. Masini, A. Napoli, D. Colnet, D. Léonard, and K. Tombre. *Les langages à objets*. InterEditions, Paris, 1989. LORIA 89-R-126.

[ZC99] O. Zendra and D. Colnet. Adding external iterators to an existing Eiffel class library. In *32th conference on Technology of Object-Oriented Languages and Systems (TOOLS Pacific'99), Melbourne, Australia*, pages 188–199. IEEE Computer Society PR00462, November 1999. LORIA 99-R-318. Disponible sur `http ://www.loria.fr/~colnet/publis/index-us.html`.

[ZC00] O. Zendra and D. Colnet. Vers un usage plus sûr de l'aliasing avec Eiffel. In *5ème Colloque Langages et Modèles à Objets (LMO'2000), Mont St-Hilaire, Québec*, pages 183–194. Hermes, Janvier 2000. LORIA A00-R-022. Disponible sur `http ://www.loria.fr/~colnet/publis/index-fr.html`.

[ZC01] O. Zendra and D. Colnet. Coping with aliasing in the GNU Eiffel Compiler implementation. *Software Pratice and Experience (SP&E)*, 31(6) :601–613, 2001. *J. Wiley & Sons*. Disponible sur `http ://SmartEiffel.loria.fr`.

[ZCC97] O. Zendra, D. Colnet, and S. Collin. Efficient Dynamic Dispatch without Virtual Function Tables. The SmallEiffel Compiler. In *12th Annual ACM Conference on Object-Oriented Programming Systems, Languages and Applications (OOPSLA'97)*, volume 32, number 10 of *SIGPLAN Notices*, pages 125–141. ACM Press, October 1997. LORIA 97-R-140. Disponible sur `http ://SmartEiffel.loria.fr`.

# Index