amU Faculté des sciences Aix Marseille Université

Année 2024-25

Domaine Sciences et Technologies
Licence Informatique : math-info
Initiation au Génie logiciel : TP 2
Codes UE : SIN5U34
Formules

1 Introduction

Le but de ce projet est d'implémenter des classes pour générer des formules mathématiques. Chaque classe correspondra à un type de formule (constantes, variable, addition, multiplication, ...). Le but de ce TP est de travailler les patrons de conception suivants :

— *Composite*
— *Template method*
— *Strategy*
— *Abstract factory*
— *Visitor*

2 Création de projet

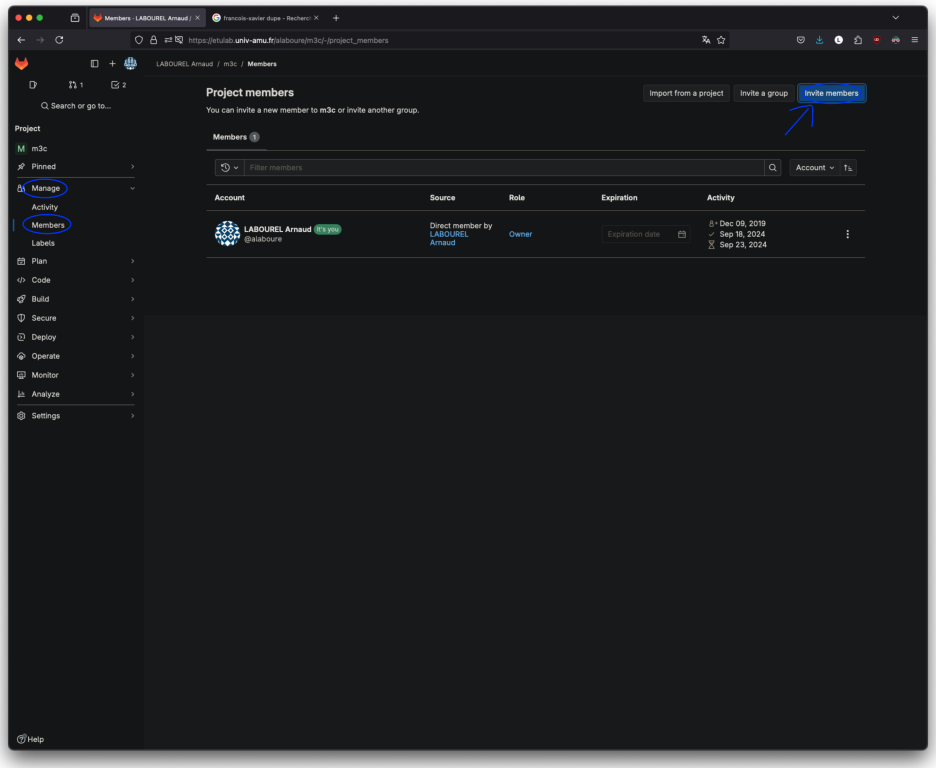
Pour la création du dépôt, il vous faut suivre les consignes du TP précédent.

3 Consignes pour le rendu

3.1 Rendu via `etulab`

Le rendu de votre projet *formula* est à faire pour le **5 novembre 2024**. Il faudra que le dépôt *git* sur `etulab` soit à jour pour le 5 novembre 2024 à 23h59 et que l'enseignant suivant soit membre du projet avec des droits au moins égal à `reporter` : Arnaud Labourel, identifiant `alaboure`.

L'ajout de membre se fait via *manage* → *members* dans le menu de votre projet sur *etulab*, puis en cliquant sur le bouton *invite members*.



Le travail peut être réalisé seul ou en binôme. Dans le cas de binôme, les deux étudiants devront être membres du projet.

3.2 Respect de la propriété intellectuelle

Comme pour tout devoir, nous vous demandons de ne pas partager votre programme, complet ou partiel, avec des étudiants n'étant pas membres de votre projet. Tout emprunt que vous effectuez doit être proprement documenté en indiquant quelle partie de votre programme est concernée et de quelle source elle provient (nom d'un autre étudiant, site internet, ...). Les emprunts incluent l'utilisation d'IA génératives telles que ChatGPT qui devront donc aussi être documentés.

3.3 Fichier `README.md` du projet

Votre projet devra contenir à sa racine un fichier `README.md` contenant les informations sur ces membres et les emprunts réalisés. Le format du fichier devra être le suivant :

```
# Formule

## Membres du projet

- NOM Prénom du premier membre
- NOM Prénom du deuxième membre (si applicable)

## Description des emprunts
```

```
- Utilisation de ChatGPT pour les classes : `Main.java`, ...
- ...
```

3.4 Critères d'évaluation

Vous serez évalué sur :

— **La conception logicielle :** votre projet devra dans la mesure du possible respecter les bonnes pratiques de conception logicielle en programmation orientée objet tels que les principes SOLID. Par exemple, des classes ayant trop de responsabilités vous pénaliseront.

— **La propreté du code :** comme indiqué dans le cours, il est important de programmer proprement. Des répétitions de code trop visibles, des noms mal choisis ou des fonctions ayant beaucoup de lignes de code (plus de dix) vous pénaliseront. Le sujet vous donne les méthodes que vous devez absolument écrire, mais il est tout à fait autoriser d'écrire des méthodes supplémentaires, de créer des constantes, ... pour augmenter la lisibilité du code. On rappelle que vous devez écrire le code en anglais.

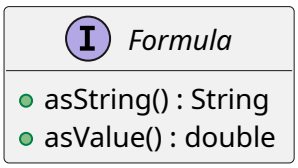
— **La correction du code :** on s'attend à ce que votre code soit correct, c'est-à-dire qu'il respecte les spécifications dans le sujet. Comme indiqué dans le sujet, vous devez tester votre code pour vérifier son comportement.

— **Les commit/push effectués :** il vous faudra travailler en continu avec `git` et faire des *push/commit* le plus régulièrement possible. Un projet ayant très peu de *pushs/commits* effectués juste avant la date limite sera considéré comme suspicieux et noté en conséquence. Un minimum accepté pour le projet sera d'au moins **2 pushs sur deux jours différents** et d'au moins **10 commits** au total. Dans le cas d'un projet réalisé en binôme, chacun des deux membres du projet devra réaliser au moins un *push*.

4 Tâches à réaliser

4.1 Interface `Formula`

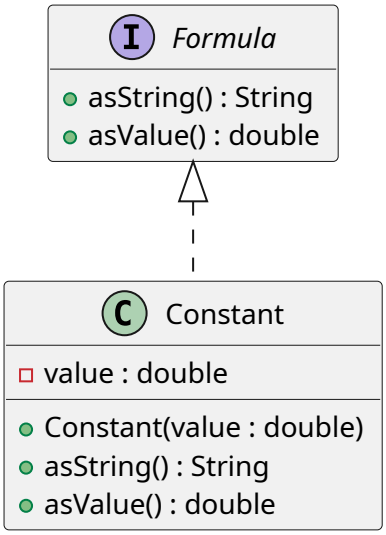
La première chose à faire est de définir une interface correspondant à une formule. Une formule aura deux méthodes, une méthode `asString()` renvoyant une chaîne de caractères représentant la formule et une méthode `asValue()` renvoyant la valeur de la formule sous forme d'un double. L'interface devra donc correspondre au diagramme de classe suivant :



Tâche 1 : Créez l'interface `Formula` dans le répertoire `src/main/java` de votre projet.

4.2 Classe `Constant`

La classe `Constant` permet de représenter une formule correspondant à une constante.



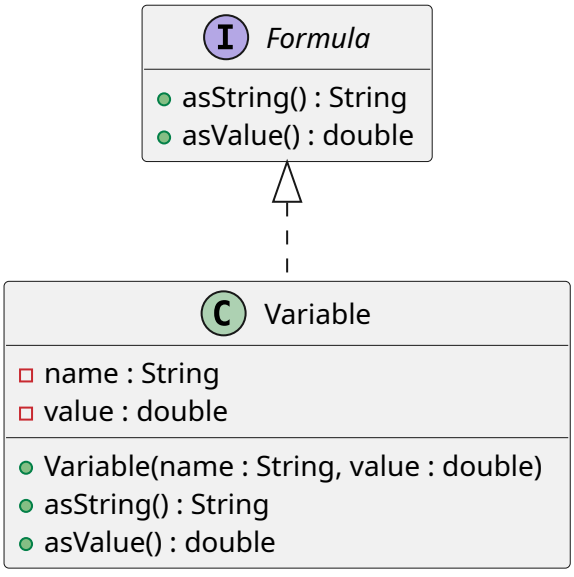
Tâche 2 : Créez la classe `Constant` dans le répertoire `src/main/java` de votre projet.

Tâche 3 : Créez une classe de test nommée `ConstantTest` dans le répertoire `src/test/java` de votre projet qui devra vérifier via des tests unitaires le comportement de la classe `Constant`. Vous devez tester les comportements suivants :

— `new Constant(3.1).asValue()` retourne une valeur égale à `3.1` ;
— `new Constant(3.1).asString()` retourne une chaîne de caractères égale à `"3.1"` ;

4.3 Classe `Variable`

La classe `Variable` permet de représenter une formule correspondant à une variable.



Tâche 4 : Créez la classe `Variable` dans le répertoire `src/main/java` de votre projet.

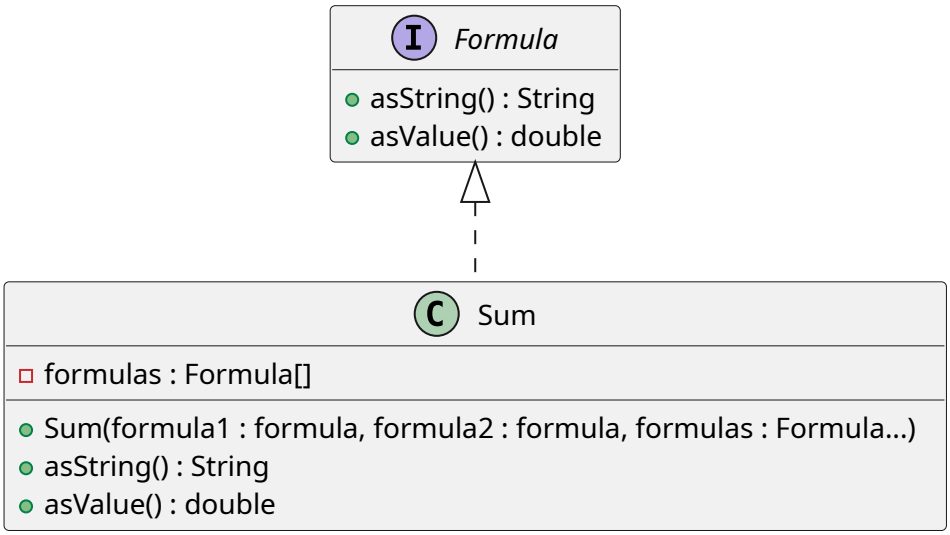
Tâche 5 : Créez une classe de test nommée `VariableTest` dans le répertoire `src/test/java` de votre projet qui

devra vérifier via des tests unitaires le comportement de la classe `Variable`. Vous devez tester les comportements suivants :

— `new Variable("X", 3.1).asValue()` retourne une valeur égale à `3.1` ;
— `new Variable("X", 3.1).asString()` retourne une chaîne de caractères égale à `"X"` ;

4.4 Classe `Sum`

La classe `Sum` permet de représenter une formule correspondant à une somme d'au moins deux autres formules.



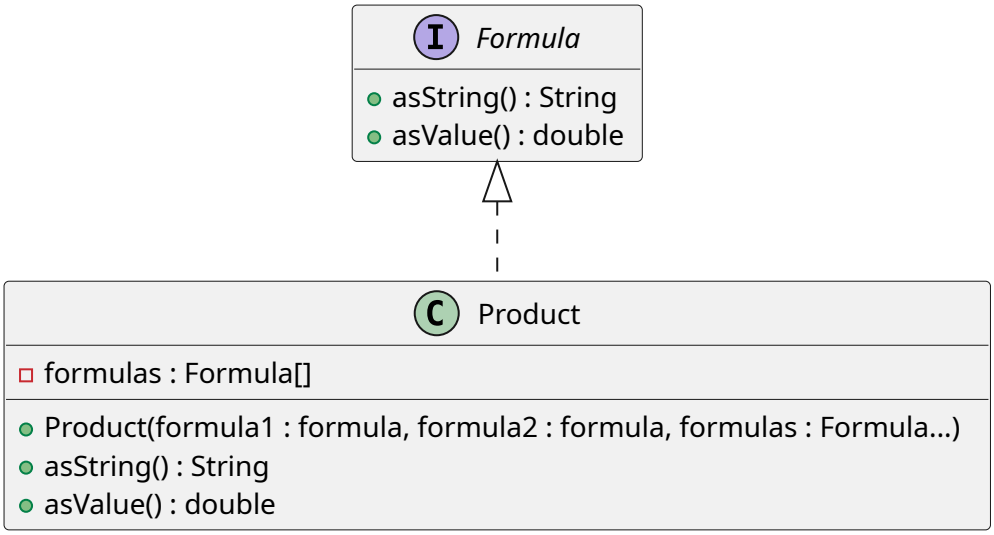
Tâche 6 : Créez la classe `Sum` dans le répertoire `src/main/java` de votre projet.

Tâche 7 : Créez une classe de test nommée `SumTest` dans le répertoire `src/test/java` de votre projet qui devra vérifier via des tests unitaires le comportement de la classe `Sum`. Vous devez tester les comportements suivants :

— `new Sum(new Variable("Y", 4.3), new Variable("X", 3.1)).asValue()` retourne une valeur proche de `7.4` ;
— `new Sum(new Variable("Y", 4.3), new Variable("X", 3.1), new Variable("Z", 1.1)).asValue()` retourne une valeur proche de `8.5` ;
— `new Sum(new Variable("Y", 4.3), new Variable("X", 3.1)).asString()` retourne une chaîne de caractères égale à `"(Y + X)"` ;
— `new Sum(new Variable("Y", 4.3), new Variable("X", 3.1), new Variable("Z", 1.1)).asString()` retourne une chaîne de caractères égale à `"(Y + X + Z)"`

4.5 Classe `Product`

La classe `Product` permet de représenter une formule correspondant à un produit d'au moins deux autres formules.



Tâche 8 : Créez la classe `Product` dans le répertoire `src/main/java` de votre projet.

Tâche 9 : Créez une classe de test nommée `ProductTest` dans le répertoire `src/test/java` de votre projet qui devra vérifier via des tests unitaires le comportement de la classe `Product`. Vous devez tester les comportements suivants :

- `new Product(new Variable("Y", 4.3), new Variable("X", 3.1)).asValue()` retourne une valeur proche de `13.33` ;
- `new Product(new Variable("Y", 4.3), new Variable("X", 3.1), new Variable("Z", 1.1)).asValue()` retourne une valeur proche de `14.663` ;
- `new Product(new Variable("Y", 4.3), new Variable("X", 3.1)).asString()` retourne une chaîne de caractères égale à `"(Y * X)"` ;
- `new Product(new Variable("Y", 4.3), new Variable("X", 3.1), new Variable("Z", 1.1)).asString()` retourne une chaîne de caractères égale à `"(Y * X * Z)"`

4.6 Réécriture code classes `Sum` et `Product`

On peut remarquer que les codes des classes `Sum` et `Product` sont très similaires.

En effet, les attributs et le code des constructeurs sont identiques. De plus, il est possible de rendre identique les codes des méthodes `String asString()` et `double asValue()` en effectuant quelques modifications.

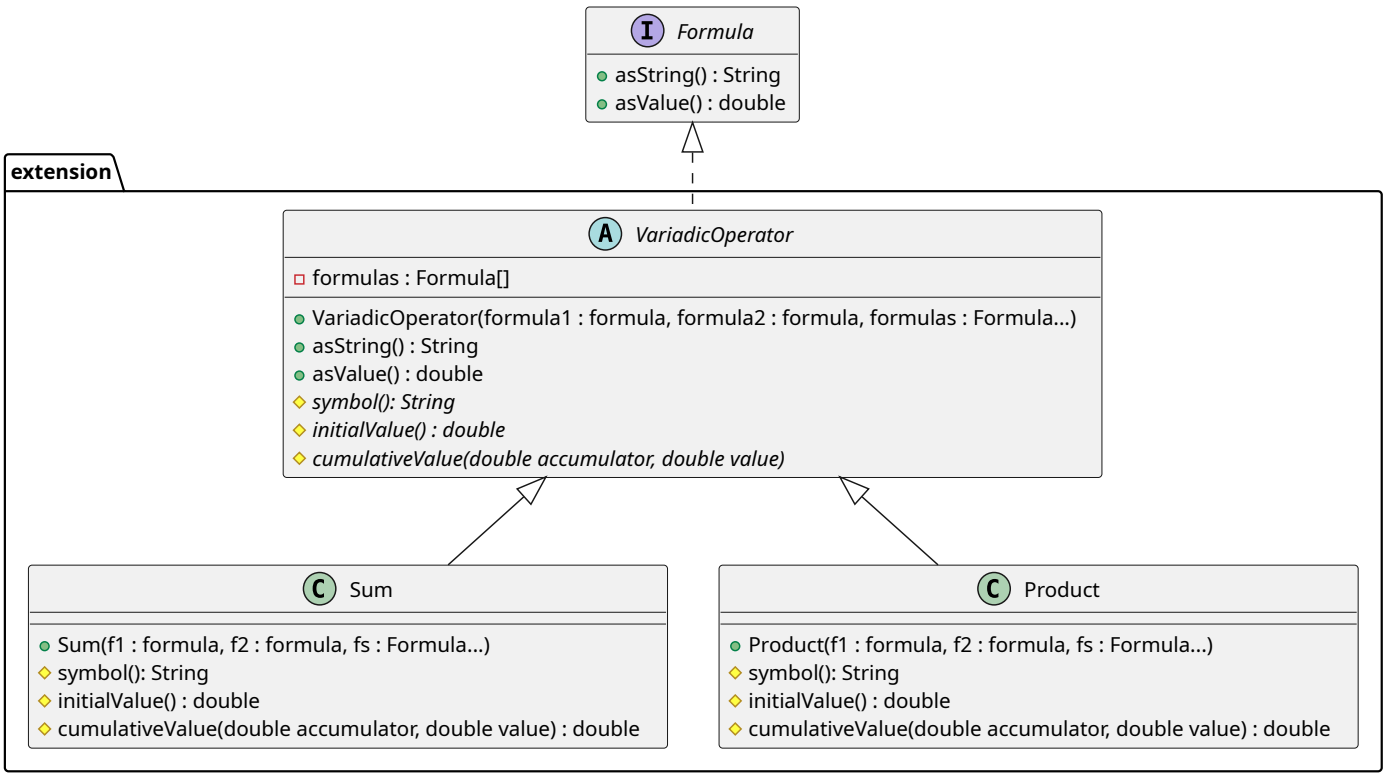
1. Dans la méthode String `asString()`, seul le caractère inséré entre les formules est différent. Dans chacune des classes `Sum` et `Product`, il est possible de définir une méthode `String symbol()` qui retourne ce caractère puis de réécrire les méthodes String `asString()` de `Sum` et `Product` de sorte qu'elles utilisent la méthode `String symbol()`.
2. De même, on peut faire que le code de la méthode `asValue()` soit le même dans les classes `Sum` et `Product`. Pour cela, on peut définir les méthodes `double initialValue()` et `double cumulativeValue(double accumulator, double value)` dans les classes `Sum` et `Product` qui retournent les valeurs suivantes :

Méthodes\Classes	`Sum`	`Product`
`initialValue`	0	1
`cumulativeValue`	accumulator+value	accumulator*value

On peut ensuite réécrire la méthode `asValue()` des classes `Sum` et `Product` de sorte qu'elles utilisent les méthodes `initialValue` et `cumulativeValue`.

4.6.1 Réécriture par extension

On va commencer par appliquer le patron de conception *template method* (patron de méthode). On va donc créer une classe abstraite `VariadicOperator` contenant le code en commun entre `Sum` et `Product`. La classe `VariadicOperator` aura trois méthodes abstraites : `intialValue`, `cumulativeValue` et `symbol`. Les nouvelles classes `Sum` et `Product` étendront la classe `VariadicOperator` en implémentant ces trois méthodes abstraites. On aura donc la configuration suivante :



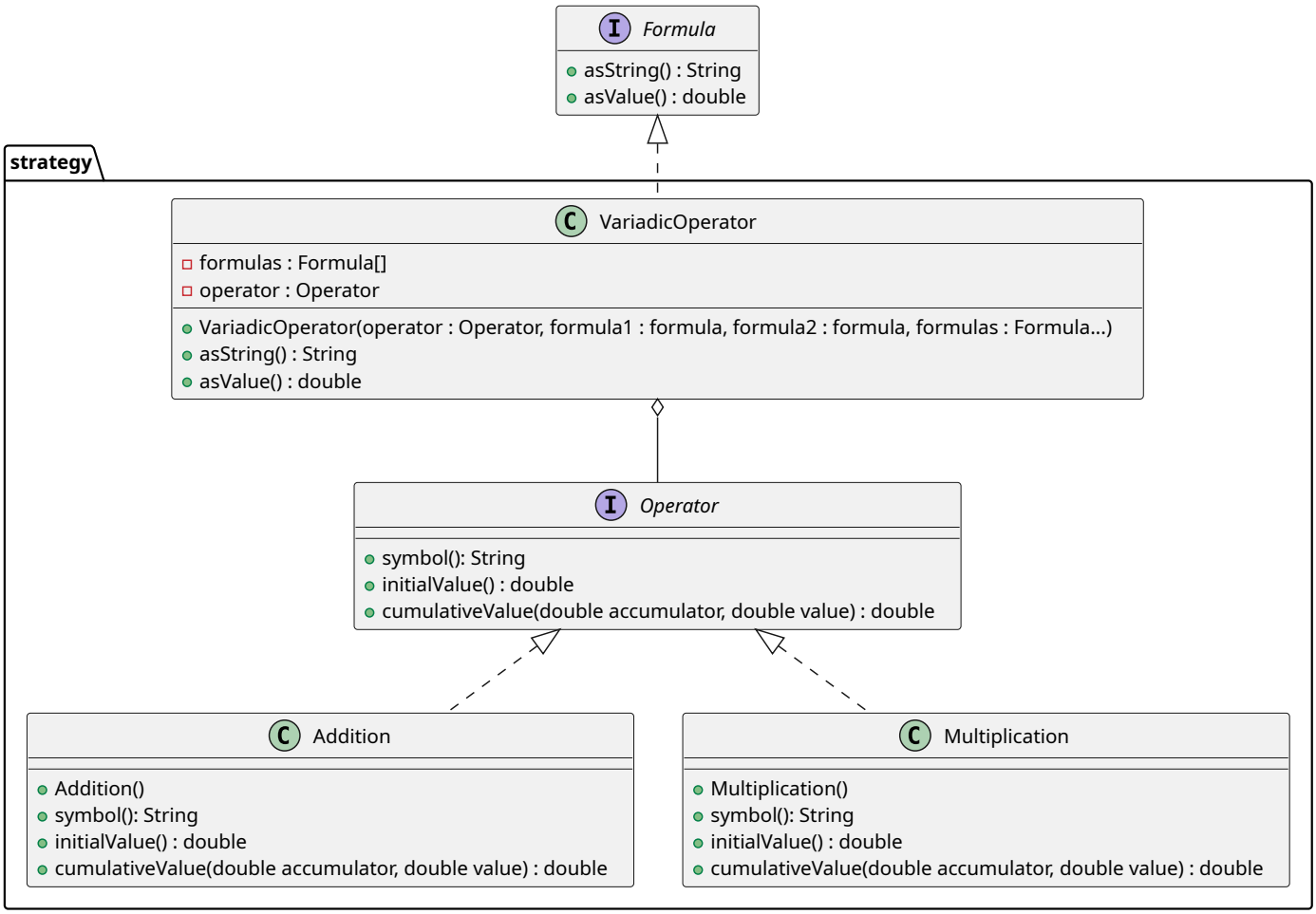
Tâche 10 : Créez un *package* `extension` dans le répertoire `src/main/java` de votre projet.

Tâche 11 : Remplacez les anciennes classes `Sum` et `Product` par les nouvelles classes `Sum` et `Product` que vous mettrez dans le *package* `extension` de votre projet. Vérifiez que les tests des classes passent toujours.

4.6.2 Réécriture par délégation

Pour cette autre façon de factoriser le code entre les classes `Sum` et `Product`, on va créer une nouvelle classe `VariadicOperator` dans un nouveau *package* `strategy`. Cette nouvelle classe délèguera les parties spécifiques

de l'évaluation et de représentation en chaîne de caractères à une interface `Operator`. L'interface `Operator` contiendra les trois méthodes `symbol`, `initialValue` et `cumulativeValue` et sera implémenté par deux classes `Addition` et `Multiplication`. On aura donc le diagramme de classes suivant :



Tâche 12 : Créez un *package* `strategy` dans le répertoire `src/main/java` de votre projet.

Tâche 13 : Créez les classes `Addition`, `Multiplication` et l'interface `Operator` dans le *package* `strategy` de votre projet.

Tâche 14 : Créer une nouvelle classe `VariadicOperator` dans le *package* `extension` (sans supprimer la classe `VariadicOperator` du package `extension`) de votre projet.

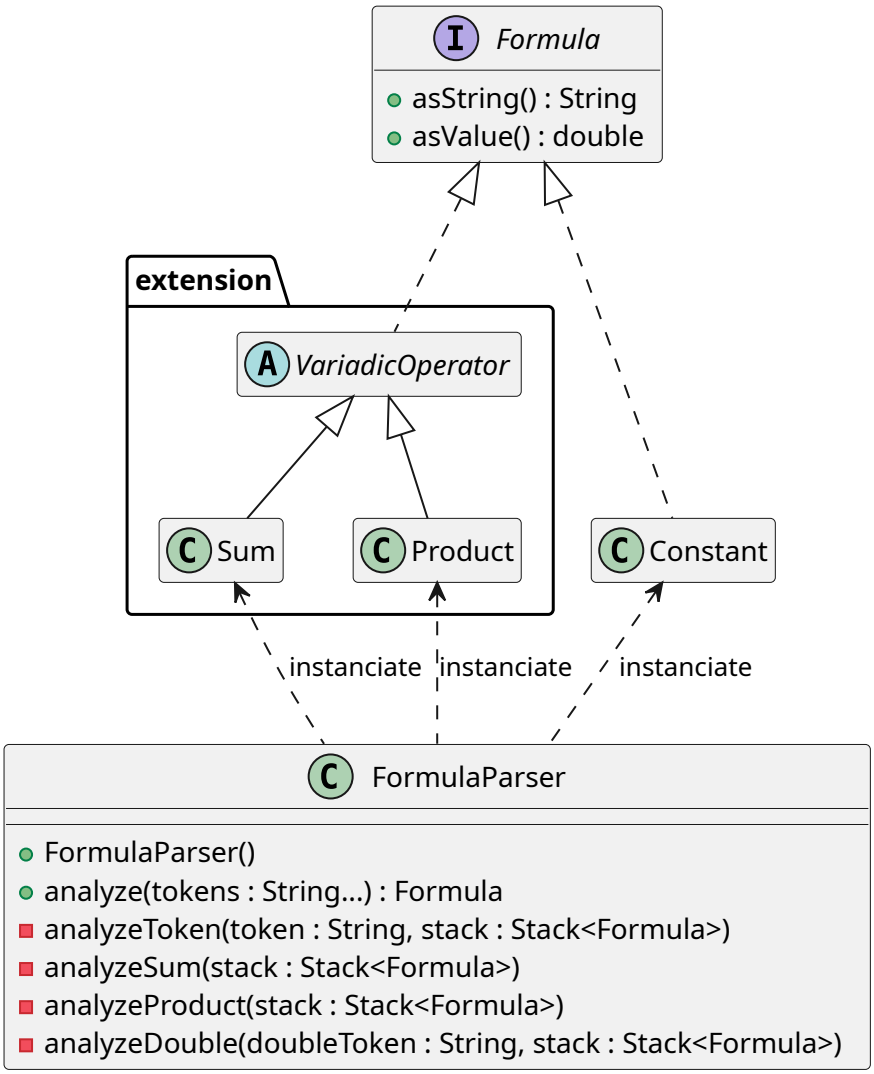
Tâche 15 : Créer des classes `VariadicOperatorTest`, `AdditionTest` et `MutiplicationTest` dans le répertoire `src/test/java` de votre projet qui devront vérifier via des tests unitaires le comportement des classes `VariadicOperator`, `Addition` et `Mutiplication`.

4.7 Parseur formule notation postfixée

Nous souhaitons écrire un programme qui prend en paramètre une expression en notation postfixée composée de nombres (constantes), de `+` et de `*` et qui calcule la valeur de l'expression. En notation postfixée (ou polonaise inversée), on place l'opérateur à droite des deux opérandes (on supposera que les opérations `+` et `*` sont binaires

et ne s'appliquent donc que sur les deux derniers termes). Par exemple, l'expression `(2 * 5) + 3 * (4 + 7)` s'écrit en notation postfixée `2 5 * 3 4 7 + * +` (les parenthèses sont inutiles).

Le but est donc de créer une classe `FormulaParser` qui va créer une formule (interface `Formula`) à partir d'une chaîne de caractère. Cette classe `FormulaParser` correspondra au diagramme suivant :



Les méthodes de `FormulaParser` ont le comportement suivant :

— `Formula analyze(String... tokens)` analyse les `tokens` d'une expression postfixée et retourne une formule correspondant à l'expression. Par exemple, un appel à `analyze("2", "5", "*", "3", "4", "7", "+", "*", "+")` devra renvoyer une formule équivalente à la formule `add2` obtenu par le code suivant :

```
Formula mult1 = new Product(new Constant(2), new Constant(5));
Formula add1 = new Sum(new Constant(4), new Constant(7));
Formula mult2 = new Product(new Constant(3), add);
Formula add2 = new Sum(mult1, mult2);
```

Le code de la méthode `analyze` créera une pile vide de formules et parcourra les `tokens` et appellera

`analyzeToken` sur chacun des `tokens`. Finalement, le retour de la méthode sera obtenu en dépilant la pile.

— `void analyzeToken(String token, Stack<Formula> stack)` traite une `token` en appelant une des méthodes `analyzeSum`, `analyzeProduct` ou `analyzeDouble` en fonction du type de `token` : `"+"`, `"*"` ou un double.

— `void analyzeSum(Stack<Formula> stack)` dépile deux éléments de la pile (levant une exception de type `IllegalStateException` si la pile ne contient pas assez d'éléments) afin de créer une `Sum` avec ces deux formules puis de l'empiler.

— `void analyzeProduct(Stack<Formula> stack)` dépile deux éléments de la pile (levant une exception de type `IllegalStateException` si la pile ne contient pas assez d'éléments) afin de créer un `Product` avec ces deux formules puis de l'empiler.

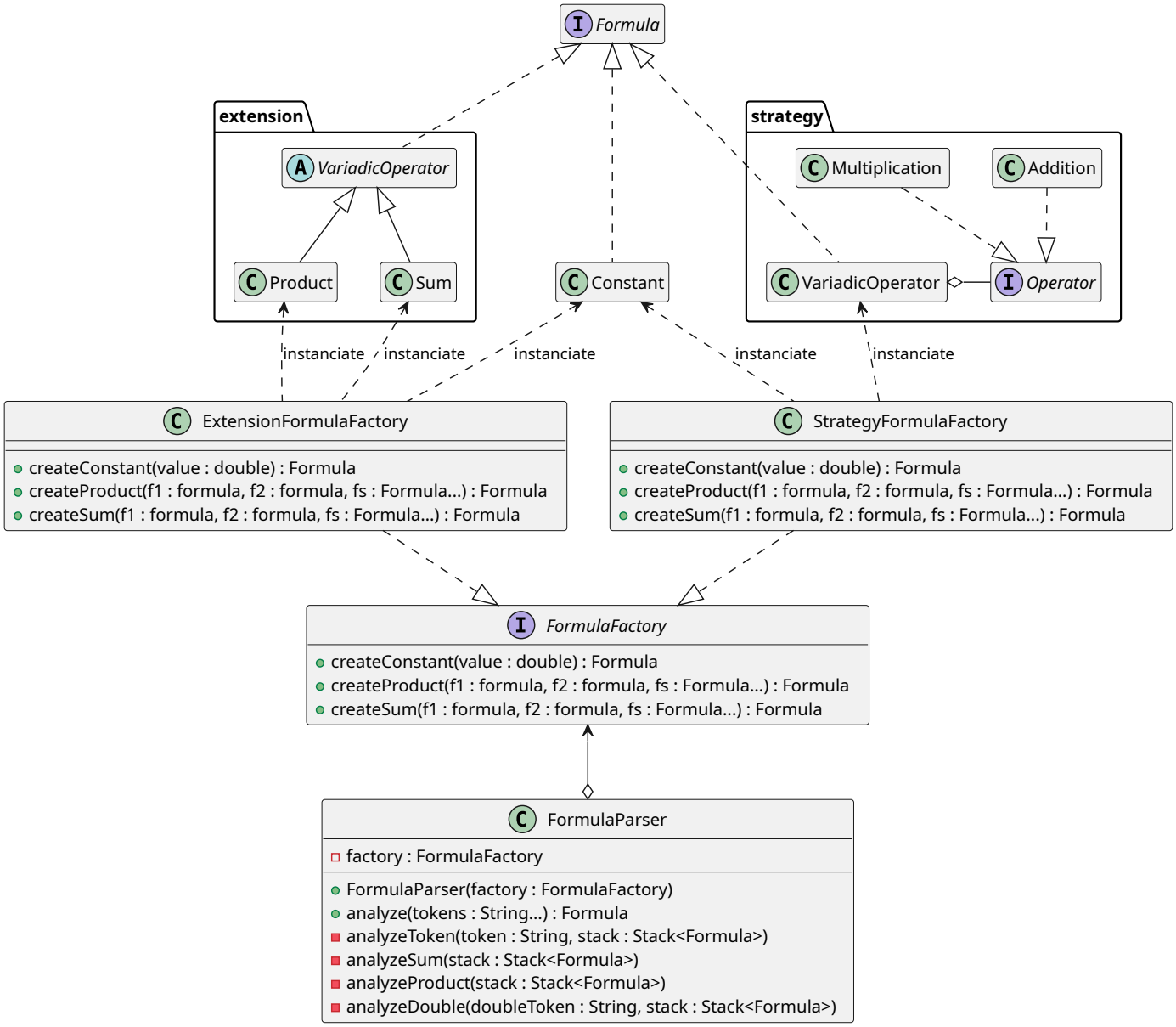
— `void analyzeDouble(String doubleToken, Stack<Formula> stack)` empile une constante ayant la valeur du `token`.

Tâche 16 : Créer une nouvelle classe `FormulaParser` dans le répertoire `src/main/java` de votre projet.

Tâche 17 : Créer la classe `FormulaParserTest` dans le répertoire `src/test/java` de votre projet qui devront vérifier via des tests unitaires le comportement de la classe `FormulaParser`. Pour tester certains comportements, vous aurez besoin de redéfinir la méthode `equals` (déjà défini dans `Object`) dans les classes `Sum`, `Product` et `Constant` afin de considérer égales les sommes (ou les produits) sommant des formules égales et les constantes de valeur égale.

4.8 Réécriture avec une fabrique abstraite

Si on souhaite utiliser la classe `VariadicOperator` du *package* `strategy` à la place des classes `Sum` et `Product` du *package* `extension`, on doit modifier à plusieurs endroits le code de `FormulaParser`. Ce n'est pas satisfaisant et on va donc créer une fabrique abstraite et changer le code de `FormulaParser` pour utiliser la fabrique abstraite pour construire les formules. Le diagramme de classes sera le suivant :



Tâche 18 : Créez l'interface `FormulaFactory` et les deux classes `StrategyFormulaFactory` et `ExtensionFormulaFactory` qui l'implémentent dans le répertoire `src/main/java` de votre projet

Tâche 19 : Modifiez le code de la classe `FormulaParser` pour qu'elle utilise une `FormulaFactory` pour créer les formules.

4.9 Utilisation du patron *visitor*

On souhaite utiliser le patron de conception *visitor* pour les classes implémentant `Formula`. Afin d'illustrer le comportement de ces trois visiteurs on considérera la formule `formula` construite grâce au code suivant :

```
Variable a = new Variable("a", 0.1);
Variable b = new Variable("b", 0.1);
Constant c = new Constant(0.1);
Variable d = new Variable("d", 1);
```

```
Formula formula = new Product(new Sum(new Sum(a,b), c), d);
```

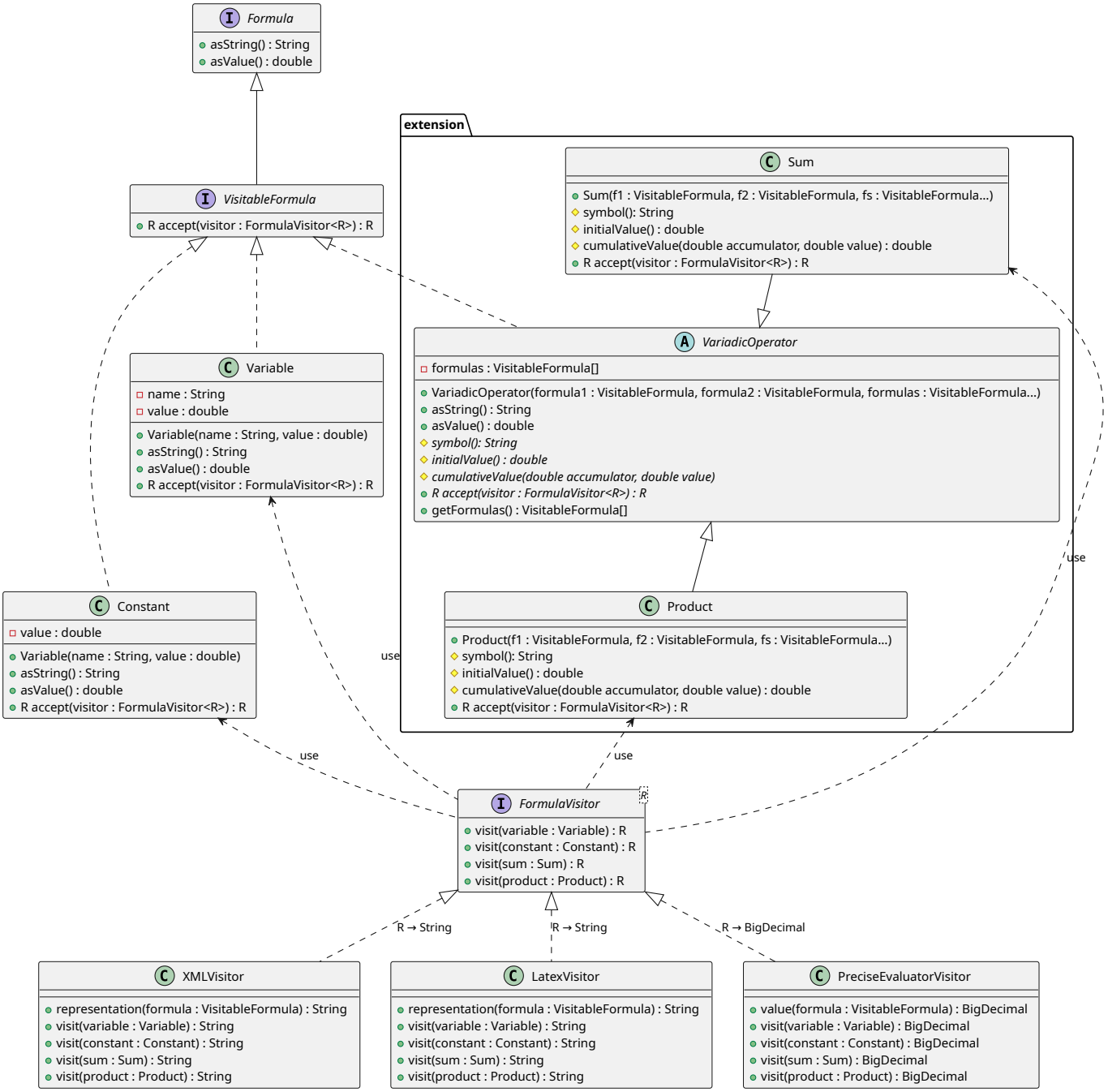
On souhaite définir 3 types de visiteurs :

- `LatexVisitor` : produit un texte LaTeX représentant la formule. Le symbole de l'addition est le `+` alors que la multiplication a pour symbole `\times` et la formule est entourée de `$`. La formule `formula` devra avoir la représentation LaTeX suivante : `$(((a + b) + 0.1) \times d)$`.
- `XMLVisitor` : produit un texte XML représentant la formule. On utilisera des balises `<product>`, `<sum>`, `<variable>` et `<constant>` correspondant aux différents types de formules. Pour les variables, on utilisera des balises `<name>` et `<value>` pour les attributs. La formule `formula` devra avoir la représentation XML suivante :

```
<product>
  <sum>
    <sum>
      <variable>
        <name>a</name>
        <value>0.1</value>
      </variable>
      <variable>
        <name>b</name>
        <value>0.1</value>
      </variable>
    </sum>
    <constant>0.1</constant>
  </sum>
  <variable>
    <name>d</name>
    <value>1.0</value>
  </variable>
</product>
```

- `PreciseEvaluatorVisitor` : évalue la valeur de la formule en utilisant `BigDecimal`. Les calculs avec les doubles contiennent des imprécisions et par exemple la formule `formula` ne s'évalue pas à `0.3` lorsqu'on évalue avec les `doubles`. Une solution pour améliorer la précision des calculs est d'utiliser `BigDecimal` pour les opérations. L'objectif est d'obtenir une évaluation à `0.3` pour `formula`. Pour cela, il vous faudra créer les `BigDecimal` à partir des chaînes de caractères des valeurs des constantes et des variables (en utilisant le constructeur de `BigDecimal` prenant un `String` en argument) et utiliser les méthodes `add` et `multiply` de `BigDecimal` pour `Sum` et `Product`.

Le diagramme de classe sera le suivant :



Tâche 20 : Créez l'interface `FormulaVisitor<R>`.

Tâche 21 : Créez l'interface `VisitableFormula` qui étends l'interface `Formula` et définit une méthode `<R> R accept(FormulaVisitor<R> visitor)`.

Tâche 22 : Modifiez les classes `Variable` et `Constant` pour qu'elles implémentent `VisitableFormula` au lieu de `Formula` et qu'elles définissent une méthode `accept`.

Tâche 23 : Modifiez les classes `VariadicOperator`, `Sum` et `Product` du `package extension` pour que `VariadicOperator` implémente `VisitableFormula` et que les classes `Sum` et `Product` définissent une méthode `accept`. Ajouter aussi des méthodes `VisitableFormula[] getFormulas()` dans `Sum` et `Product` afin

que les visiteurs puissent avoir l'accès aux données des classes.

Tâche 24 : Créez la classe `XMLVisitor` implémentant `FormulaVisitor<String>` dans le répertoire `src/main/java` de votre projet.

Tâche 25 : Créez une classe de test nommée `XMLVisitorTest` dans le répertoire `src/test/java` de votre projet qui devra vérifier via des tests unitaires le comportement de la classe `XMLVisitor`.

Tâche 26 : Créez la classe `PreciseEvaluatorVisitor` implémentant `FormulaVisitor<BigDecimal>` dans le répertoire `src/main/java` de votre projet.

Tâche 27 : Créez une classe de test nommée `PreciseEvaluatorVisitorTest` dans le répertoire `src/test/java` de votre projet qui devra vérifier via des tests unitaires le comportement de la classe `PreciseEvaluatorVisitor`.

Tâche 28 : Créez la classe `LatexVisitor` implémentant `FormulaVisitor<String>`dans le répertoire `src/main/java` de votre projet.

Tâche 29 : Créez une classe de test nommée `LatexVisitorTest` dans le répertoire `src/test/java` de votre projet qui devra vérifier via des tests unitaires le comportement de la classe `LatexVisitor`.

4.10 Tâches supplémentaires

Les tâches décrites ci-dessous (tâches 30 et 31) peuvent être réalisée dans l'ordre de votre choix.

4.10.1 Visiteurs supplémentaires

Pour les fonctionnalités suivantes, on supposera que les formules sont uniquement composé de Variables, Constantes, Sommes et Produits. On souhaiterait avoir les classes suivantes :

- Une classe `IsConstantVisitor` implémentant `FormulaVisitor<Boolean>` qui retourne pour chaque formule si elle correspond à une constante ou pas. Une formule correspond à une constante si elle est de type `Constant` ou bien si elle correspond à un produit ou une somme uniquement composée de constantes.
- Une classe `IsZeroVisitor` implémentant `FormulaVisitor<Boolean>` qui retourne pour chaque formule si elle est toujours égale à 0 ou pas. Une formule est égale à zéro si elle est constante et s'évalue à `0` ou bien si elle correspond à un produit contenant une formule à zéro.
- Une classe `SimplifyVisitor` implémentant `FormulaVisitor<Formula>` qui retourne une formule plus simple qui est équivalente à la formule donnée en paramètre. On considère par exemple la formule `formula` correspondant à l'expression $((3+3)\times x)+(0\times y)$ et pouvant être obtenue par le code suivant :

```
Variable x = new Variable("x", 0.1);
Constant c1 = new Constant(3);
Constant c2 = new Constant(3);
Constant zero = new Constant(3);
Variable y = new Variable("y", 0.1);
Formula formula = new Sum(new Product(new Sum(c1,c2), x), new Product(zero, y));
```

  Un appel à `formula.accept(new SimplifyVisitor())` (appliquant le visiteur à la formule) devra retourner une formule équivalente à la formule `simplifiedFormula` correspondant à l'expression $6\times x$

et pouvant être obtenue par le code suivant :

```
Formula simplifiedFormula = new Product(new Constant(6), x);
```

— Une classe `DerivativeVisitor` implémentant `FormulaVisitor<Boolean>`, ayant un attribut `String variableName` initialisé à la construction via un argument du constructeur de même nom et type, qui retourne une formule correspondant à la dérivée de la formule par rapport à la variable de nom `variableName`. On considère par exemple la formule `formula` correspondant à l'expression $(3 \times x) + y$ et pouvant être obtenue par le code suivant :

```
Variable x = new Variable("x", 0.1);
Variable y = new Variable("y", 0.1);
Formula formula = new Sum(new Product(new Constant(3), x), y);
```

Un appel à `formula.accept(DerivativeVisitor("x"))` (appliquant le visiteur à la formule) devra retourner une formule équivalente à la formule `derivativeFormula` correspondant à l'expression $((3 \times 1) + (0 \times x)) + 0$ et pouvant être obtenue par le code suivant :

```
Variable x = new Variable("x", 0.1);
Formula subFormula1 = new Product(new Constant(3), new Constant(1));
Formula subFormula2 = new Product(new Constant(0), x);
Formula derivativeFormula = new Sum(new Sum(subFormula1, subFormula2), new Constant(0));
```

On pourra appeler le visiteur de simplification `derivativeFormula.accept(new SimplifyVisitor())` pour obtenir une formule simplifiée `simplifiedDerivativeFormula` correspondant à l'expression 3 et pouvant être obtenue par le code suivant :

```
Formula simplifiedDerivativeFormula = new Constant(3);
```

Tâche 30 : Créez les classes décrites ci-dessus. Vous devez :

— Tester les classes que vous créez ;
— Faire attention à minimiser la duplication de code ;
— Faire attention à respecter les principes SOLID ;
— Ajouter les classes dans les fabriques abstraites ;
— Ajouter les classes aux différents visiteurs ;
— Modifier `FormulaParser` pour ajouter les opérations correspondant aux nouveaux types de formules.

4.10.2 Autres implémentations de `Formula`

On souhaite compléter les formules avec :

— une classe `Maximum` minimum $\max(f_1, f_2, \ldots, f_k)$ pour des formules $f_1, f_2, \ldots, f_k$:
  — représentation texte `max(f,g,h)` pour trois formules `f`, `g` et `h`,
  — représentation XML `<maximum> f g h </maximum>` pour trois formules `f`, `g` et `h`,
  — représentation latex `\max(f,g,h)` pour trois formules `f`, `g` et `h`;
— une classe `Minimum` minimum $\min(f_1, f_2, \ldots, f_k)$ pour des formules $f_1, f_2, \ldots, f_k$:
  — représentation texte `min(f,g,h)` pour trois formules `f`, `g` et `h`,
  — représentation XML `<minimum> f g h </minimum>` pour trois formules `f`, `g` et `h`,
  — représentation latex `\min(f,g,h)` pour trois formules `f`, `g` et `h`;

— une classe `Fraction` fraction f/g pour deux formules f et g :
  — représentation texte `f/g`,
  — représentation XML

```
<fraction>
  <numerator>f</numerator>
  <denominator>g</denominator>
</fraction>
```

  — représentation latex `\frac{f}{g}` ;
— une classe `Minus` négation $-f$ pour une formule f :
  — représentation texte `-f`,
  — représentation XML `<minus>f</minus>`,
  — représentation latex `-f` ;
— une classe `AbsoluteValue` valeur absolue $|f|$ pour une formule f :
  — représentation texte `|f|`,
  — représentation XML `<absoluteValue>f</absoluteValue>`,
  — représentation latex `\lvert f \rvert` ;
— une classe `Square` carré f^2 pour une formule f :
  — représentation texte `f²`,
  — représentation XML `<square>f</square>`,
  — représentation latex `f^2` ;
— une classe `SquareRoot` carré $\sqrt{f}$ pour une formule f
  — représentation texte `sqrt(f)`,
  — représentation XML `<squareRoot>f</squareRoot>`,
  — représentation latex `\sqrt{f}` ;
— une classe `Power` : puissance f^g pour deux formules f et g
  — représentation texte `f^k` ;
  — représentation XML`<power><base>f</base><exponent>g</exponent></power>`,
  — représentation latex `f^{g}`.

Tâche 31 : Créez les classes décrites ci-dessus. Vous devez :

— Tester les classes que vous créez ;
— Faire attention à minimiser la duplication de code ;
— Faire attention à respecter les principes SOLID ;
— Ajouter les classes dans les fabriques abstraites ;
— Ajouter les classes aux différents visiteurs ;
— Modifier `FormulaParser` pour ajouter les opérations correspondant aux nouveaux types de formules.