

Méthodes gardées en OCaml  
ou l'utilisation *maladroite* d'un **GADT** en **OOP**



**Xavier Van de Woestyne**  
@vdwxv - [xvw.github.io/capsule](https://xvw.github.io/capsule)

## Moi

- ▶ **Xavier Van de Woestyne** (Belge, à Nantes depuis 2ans !)
- ▶ Développeur OCaml chez **Marigold** (*Layer2* et *dApps* pour **Tezos**)
- ▶ @xvw sur Github, @vdwxv sur Twitter

## LambdaNantes

- ▶ dédié aux **langages applicatifs** (donc agnostique)
- ▶ REX, encodages, découvertes
- ▶ objectif de récurrence: ~1 par mois

# Objectifs

- ▶ Comprendre les **méthodes gardées** (comme une limite de l'OOP *mainstream*)
- ▶ Comprendre, *sommairement*, les **types algébriques généralisés**
- ▶ Se familiariser avec la notion **d'égalité de types locales**
- ▶ Comprendre un (ou plusieurs) usage(s) de Ref1
- ▶ Faire la promotion de **OCaml**

*La présentation propose une élaboration assez lente pour une **solution triviale**.*

Sur le **polymorphisme paramétrique** dans  
les langages OOP à la Java

En Java, on peut, au niveau de la classe:

**Paramétrer une classe par une autre:**

```
class MyClass<T> { }
```

En Java, on peut, au niveau de la classe:

**Paramétrer une classe par une autre:**

```
class MyClass<T> { }
```

**Restreindre la variable de type**

```
class MyClass<T extends S> { }
```

En Java, on peut, au niveau de la classe:

**Paramétrer une classe par une autre:**

```
class MyClass<T> { }
```

**Restreindre la variable de type**

```
class MyClass<T extends S> { }
```

**Multiplier les bornes**

```
class MyClass<T extends A & B> { }
```

En Java, on peut, au niveau de la méthode:

### Introduire des existentiels

```
class MyClass<A> {  
    public <B>  
        MyClass<A>  
        map(Function<A, B> f) {}  
}
```

En Java, on peut, au niveau de la méthode:

### Introduire des existentiels

```
class MyClass<A> {  
    public <B>  
        MyClass<A>  
        map(Function<A, B> f) {}  
}
```

### Restreindre la variable de type

```
class MyClass<A> {  
    public  
        <B extends S> MyClass<A>  
        map(Function<A, B> f) {}  
}
```

En Java, on peut, au niveau de la méthode:

### Introduire des existentiels

```
class MyClass<A> {  
    public <B>  
        MyClass<A>  
        map(Function<A, B> f) {}  
}
```

### Restreindre la variable de type

```
class MyClass<A> {  
    public  
        <B extends S> MyClass<A>  
        map(Function<A, B> f) {}  
}
```

### Multiplier les bornes

```
class MyClass<A> {  
    public  
        <B extends S & T> MyClass<A>  
        map(Function<A, B> f) {}  
}
```

En Java, on peut, au niveau de la méthode:

### Introduire des existentiels

```
class MyClass<A> {  
    public <B>  
        MyClass<A>  
        map(Function<A, B> f) {}  
}
```

### Multiplier les bornes

```
class MyClass<A> {  
    public  
        <B extends S & T> MyClass<A>  
        map(Function<A, B> f) {}  
}
```

### Restreindre la variable de type

```
class MyClass<A> {  
    public  
        <B extends S> MyClass<A>  
        map(Function<A, B> f) {}  
}
```

### Note sur la contrainte

- ▶ `<B extends S> B f(B x)` : renvoie un B
- ▶ `S f(S x)` : renvoie un S

Le langage des génériques semble **très expressif** !

```
interface List<A> {  
    List<A> cons(A x);  
    <B> List<B> map (Function<A, B> f);  
}
```

Pourrait se traduire par ce module en **OCaml**

```
module type List : sig  
    val 'a t  
    val cons : 'a -> 'a t -> 'a t  
    val map : ('a -> 'b) -> 'a t -> 'b t  
end
```

*Rah, l'OOP est plus clair ! chien.aboyer() c'est tellement mieux que aboyer(chien)*

## Augmentons la difficulté !

```
module type List : sig
  val 'a t
  val cons : 'a -> 'a t -> 'a t
  val map : ('a -> 'b) -> 'a t -> 'b t
+  val sum : int list -> int
+  val flatten : 'a list list -> 'a list
end
```

- ▶ On peut ajouter des contraintes sur **toute la classe**

- ▶ On peut ajouter des contraintes sur **toute la classe**
- ▶ On peut ajouter des contraintes sur **les variables de méthodes polymorphes**

- ▶ On peut ajouter des contraintes sur **toute la classe**
- ▶ On peut ajouter des contraintes sur **les variables de méthodes polymorphes**

On ne peut pas, **au niveau d'une méthode**, préciser le **type du receveur**.

## Solution à la Java

### Sortir la méthode du corps de la classe

```
public static <A> List<A> flatten(List<List<A>> l) { }  
public static int sum(List<List<int>> l) {}
```

## Solution à la Java

### Sortir la méthode du corps de la classe

```
public static <A> List<A> flatten(List<List<A>> l) { }  
public static int sum(List<List<int>> l) {}
```

**En d'autres mots:** la représentation OOP est supérieure... *jusqu'à ce que ça ne marche plus...* (meh)

# Solution à la Java

## Autre soucis

- ▶ En Java, les méthodes statiques dans une interface **doivent avoir un corps**
- ▶ Donc on est obligé **d'enrichir l'API** pour pouvoir décrire ces deux méthodes (ici, ajouter une méthode `fold` devrait faire l'affaire)

*De plus, la **staticité est mal comprise en Java** et son partage est ambigu.*

## Kotlin à la rescousse

***Kotlin:** A modern programming language that makes developers happier.*

- ▶ Un **meilleur Java**
- ▶ (offrant des idiomes “plus fonctionnels” et des outils de typage)

## Kotlin à la rescousse

***Kotlin:** A modern programming language that makes developers happier.*

- ▶ Un **meilleur Java**
- ▶ (offrant des idiomes “plus fonctionnels” et des outils de typage)
- ▶ Une version édulcorée de **Scala** (qui nécessite des encodages très compliqué pour atteindre un niveau de généricité décent)

## Utilisation d'une méthode d'extension (aussi présente en C#)

```
fun <A> List<List<A>>.flatten () = ...  
fun List<Int>.sum() = ...
```

- ▶ Les **méthodes d'extensions** permettent d'ajouter des méthodes à des classes existantes (même `final`)
- ▶ Elles permettent de **définir plus finement le receveur** (plus qu'avec une méthode "simple")

## Utilisation d'une méthode d'extension (aussi présente en C#)

```
fun <A> List<List<A>>.flatten () = ...  
fun List<Int>.sum() = ...
```

- ▶ Les **méthodes d'extensions** permettent d'ajouter des méthodes à des classes existantes (même `final`)
- ▶ Elles permettent de **définir plus finement le receveur** (plus qu'avec une méthode "simple")
- ▶ Définie **en dehors** de la classe, donc impose potentiellement d'**échapper** des méthodes.
- ▶ Imposent parfois des schémas **d'importation plus complexes** (maquillées par l'IDE)

Ce que l'on voudrait, des **méthodes gardées**  
soit, spécifier le receveur, parfois, au niveau de la méthode

# The Object-Oriented/Functional-Programming symmetry: theory and practice

par Gabriel Scherer

- ▶ Pose une symétrie entre l'OOP et la programmation fonctionnelle (avec des ADTs)
- ▶ Pose un regard sur les égalité de types
- ▶ présente cette syntaxe (en OCaml):

```
class type ['a] list = object
  method flatten : 'b list
  with 'a = 'b list
end
```



**Hoorra**, OCaml dispose d'une syntaxe pour **déclarer des méthodes gardées** (c'est vraiment le meilleur langage du monde !)

**Hoorra**, OCaml dispose d'une syntaxe pour **déclarer des méthodes gardées** (c'est vraiment le meilleur langage du monde !)

Malheureusement, **c'était du pseudo-code**. OCaml, comme une grande partie (à ma connaissance) des langages *mainstream* ne supporte pas les méthodes gardées *first-class*.

Pas de soucis, proposons un **encodage** de cette  
fonctionnalité... avec un **GADT**

## Rappel sur les ADTs : les produits

Permettent de créer un regroupement de valeur de types différents (ou non) pour construire des structures complexes.

```
type point = int * int
type human = { name : string; age: int }
```

Les classes **sont des formes de produits**

## Rappel sur les ADTs : les sommes

Permettent d'unifier des types différents sous l'ombrelle d'un même type :

```
type int_or_string =  
  | Int of int  
  | String of string
```

```
let x : int_or_string = String "foo"
```

Encodables avec **des familles scellées** et de l'héritage.

Ils permettent de décrire toutes sortes d'outils

```
type coord =  
  | Point2D of { x: int; y: int }  
  | Point3D of {  
      x: int; y: int; z: int }
```

```
type color = Red | Green
```

```
type colored_point = color * coord
```

```
type 'a list =  
  | Nil  
  | Cons of ('a * 'a list)
```

## Un GADT (type algébrique généralisé)

Un **GADT** est une extension des types sommes qui permet d'indexer les constructeurs d'une somme par des types spécifiques :

```
type _ int_or_string =  
  | Int : int -> int int_or_string  
  | String : string -> string int_or_string  
  
let x : string int_or_string = String "foo"  
let y : int int_or_string = Int 42
```

Les **contraintes** sont définies **au niveau du constructeur**

- ▶ `String` est un constructeur qui prend une `string` et renverra **toujours** une expression de type `string int_or_string`
- ▶ `Int` est un constructeur qui prend un `int` et renverra **toujours** une expression de type `int int_or_string`

En complément, le *typeur* attache une **égalité de type** qui permet d'être réifiée dans **de la correspondance de motifs**:

```
let int_to_string x =  
  match x with  
  | Int an_integer -> string_of_int an_integer  
  
val int_to_string : int int_or_string -> string
```

Comme la correspondance de motif doit être de même type, on introduit un type **localement abstrait** pour traiter les deux constructeurs de manière uniforme.

```
let to_string (type a) (x : a int_or_string) : string =  
  match x with  
  | Int an_integer -> string_of_int an_integer  
  | String a_string -> a_string  
  
val to_string : 'a int_or_string -> string
```

- ▶ Les **GADTs** permettent de **contraindre** un ou plusieurs types paramétrés par **constructeurs**
- ▶ Ils permettent de faire de la correspondance de motifs partielles (tout en produisant des fonctions totales)
- ▶ **Ils permettent de décrire plus d'invariants**

Ils peuvent servir à décrire des APIs plus sûres et ils sont présents en Haskell et relativement en Scala.

Ref1, un constructeur de GADT très spécifique

```
type (_, _) eq =  
  | Refl : ('a, 'a) eq
```

```
type (_, _) eq =  
  | Refl : ('a, 'a) eq
```

- ▶ Un seul constructeur possible ; Refl
- ▶ QUI malgré qu'il soit paramétré par deux types, ne permet de ne construire des valeur ('a, 'b) eq **que si** 'a = 'b

```
type (_, _) eq =  
  | Refl : ('a, 'a) eq
```

- ▶ Un seul constructeur possible ; Refl
- ▶ QUI malgré qu'il soit paramétré par deux types, ne permet de ne construire des valeur ('a, 'b) eq **que si** 'a = 'b

```
let x : (int, int) eq = Refl
```

```
let y : (int, string) eq = Refl  
                ^^^^
```

Error: This expression has type (int, int) eq  
but an expression was expected of type (int, string) eq  
Type int is not compatible with type string

Refl permet de **formaliser l'égalité entre deux types syntaxiquement différent**. Ici entre entier et un alias sur entier.

```
type other_int = int
```

```
let x : (int, other_int) eq = Refl
```

## En d'autres mots

*Si je peux fournir un `Refl` typé comme `('a, 'b) eq`, alors je sais, **par évidence** que `'a` est identique à `'b`'.*

## Et pour l'abstraction ?

```
module T : sig
  type t
end = struct
  type t = int
end
```

```
let x : (int, T.t) eq = Refl
      ^^^^
```

Error: This expression has **type** (int, int) eq  
but an expression was expected **of type** (int, T.t) eq  
Type **int** is **not** compatible **with type** T.t

Ici, le compilateur ne peut pas **déduire** que T.t est int parce que T.t est **abstrait**.

Pas de soucis, il suffit de fournir un **témoins** là où l'on peut instancier un Refl:

```
module T : sig
  type t
  val eq : (int, t) eq
end = struct
  type t = int
  let eq = Refl
end

let x : (int, T.t) eq = T.eq
```

Comme  $\text{Ref1}$  est un témoins d'égalité **explicite** il provient avec quelques axiomes liés à l'égalité :

Comme `Refl` est un témoins d'égalité **explicite** il provient avec quelques axiomes liés à l'égalité :

**L'égalité est symétrique:**

```
let symm (type a b) (Refl : (a, b) eq) : (b, a) eq = Refl
```

```
type other_int = int
```

```
let x : (int, other_int) eq = Refl
```

```
let y : (other_int, int) eq = symm x
```

## L'égalité est transitive:

```
let trans (type a b c)
  (Refl: (a, b) eq)
  (Refl: (b, c) eq) : (a, c) eq = Refl
```

```
type other_int = int
type yet_another_int = other_int
let x : (int, other_int) eq = Refl
let y : (other_int, yet_another_int) eq = Refl
let z : (int, yet_another_int) eq = trans x y
```

L'égalité est injective ((`'a t`, `'b t`) eq alors (`'a`, `'b`) eq):

```
module Injective (T : sig type 'a t end) = struct
  let make (type a b)
    (Refl: ('a T.t, 'b T.t) eq) : ('a, 'b) eq = Refl
end
```

```
type other_int = int
module I = Injective (struct type 'a t = 'a list end)
```

```
let x : (int list, other_int list) eq = Refl
let y : (int, other_int) eq = I.make x
```

L'absence de **Higher kinded types** rend l'écriture un peu laborieuse

Et comme l'instanciation de `Refl` pour `'a` et `'b` implique une évidence que le type `'a` est compatible avec `'b`, on a **du cast gratuit**:

```
let cast (type a b)
  (Refl : (a, b) eq) (x : a) : b = x
```

## Pour terminer sur Refl

Refl est un **GADT**, qui, comme pour les produits et les sommes :

- ▶ Le couple 'a \* 'b est le **couple minimal pour décrire tout les produits**
- ▶ La somme ('a, 'b) either est la **somme minimale pour décrire toutes les sommes**

## Pour terminer sur Refl

Refl est un **GADT**, qui, comme pour les produits et les sommes :

- ▶ Le couple `'a * 'b` est le **couple minimal pour décrire tout les produits**
- ▶ La somme `('a, 'b) either` est la **somme minimale pour décrire toutes les sommes**

Nous avons dit qu'un GADT **était un type somme qui attachait une égalité de type locale à chacune de ses branches**. Donc Refl couplé à des sommes régulières suffit à décrire tous les GADTs[1].

1. **Foundations for structured programming with GADTs**, Patricia Johann & Neil Ghani

Mais quel rapport avec **les méthodes gardées** ?

Considérons cette interface

```
class type ['a] obj_list = object
  method length : int
  method concat : 'a obj_list -> 'a obj_list
end
```

```
class type ['a] obj_list = object
  method length : int
  method concat : 'a obj_list -> 'a obj_list
+  method flatten : ???
+  method sum : ???
end
```

```
class type ['a] obj_list = object
  method length : int
  method concat : 'a obj_list -> 'a obj_list
+  method flatten : ???
+  method sum : ???
end
```

Comment dire que pour ces méthodes, on voudrait **contraindre** le 'a de notre classe ?

```
class type ['a] obj_list = object
  method length : int
  method concat : 'a obj_list -> 'a obj_list
+  method flatten : ???
+  method sum : ???
end
```

Comment dire que pour ces méthodes, on voudrait **contraindre** le 'a de notre classe ?

En somme, dire que :

- ▶ dans le cas sum, 'a = int
- ▶ dans le cas flatten, 'a = 'b list

Mais... nous savons comment matérialiser cette **évidence** !

Mais... nous savons comment matérialiser cette **évidence** !

```
class type ['a] obj_list = object
  method length : int
  method concat : 'a obj_list -> 'a obj_list
+  method flatten : ('a, 'b list) eq -> 'b list
+  method sum : ('a, int) eq -> int
end
```

Où `my_list` implémente `obj_list`:

```
let b = my_list [ [ 1 ]; [ 2 ]; [ 3 ] ]
```

```
let c = b#flatten Refl
```

```
let _ = assert ([ 1; 2; 3 ] = c)
```

```
let d = (my_list c)#sum Refl
```

```
let _ = assert (6 = d)
```

## Une utilisation qui échoue à la compilation

On tente de faire sum sur une liste de string

```
let b = O.my_list [ "foo"; "bar" ]  
let c = b#sum Refl  
      ^^^^
```

Error: This expression has type (string, string) eq  
but an expression was expected of type (string, int) eq  
Type string is not compatible with type int

## Une utilisation qui échoue à la compilation

Ou de flatten sur une liste déjà flatten

```
let c = (O.my_list [ 1; 2; 3; 4 ])#flatten Refl
                                         ^^^^
```

Error: This expression has type (int, int) eq  
but an expression was expected of type (int, 'a list) eq  
Type int is not compatible with type 'a list

Et voila !

Nous avons vu un exemple de programmation avec du passage  
par évidence

- ▶ Refl peut être utilisé dans d'autres cas. Son usage le plus fréquent est la conversion entre une représentation **non typée vers une représentation typée**
- ▶ En complément, les GADTs permettent de décrire brièvement des existentiels :  
`type e = Pack : 'a -> e`
- ▶ Ils permettent d'encoder finement des invariants
- ▶ Tous les langages (statiquement typés) devraient en avoir [1].

- ▶ Refl peut être utilisé dans d'autres cas. Son usage le plus fréquent est la conversion entre une représentation **non typée vers une représentation typée**
  - ▶ En complément, les GADTs permettent de décrire brièvement des existentiels :  
`type e = Pack : 'a -> e`
  - ▶ Ils permettent d'encoder finement des invariants
  - ▶ Tous les langages (statiquement typés) devraient en avoir [1].
1. Mais comme tous les langages devraient être statiquement typés.

Fin ! Merci ! Questions ?

[conversations ouvertes]: usage de l'OOP en OCaml.

[autre sujet de présentation]: usage plus concret des GADTs.