

Modèles de Programmation



Emmanuel Chailloux

Plan

- ▶ Déclaration de types
 - ▶ produit cartésien
 - ▶ union discriminante
 - ▶ types récurifs
 - ▶ types paramétrés
- ▶ Exemples
- ▶ Typage et domaine de définition
- ▶ Exceptions en OCaml
- ▶ Exceptions dans d'autres langages

Déclarations de types (1)

- ▶ produit cartésien : enregistrement

Syntaxe:

```
type nom = enregistrement;;
```

- ▶ union discriminante : somme avec constructeurs

Syntaxe:

```
type nom = union;;
```

- ▶ abréviation

Syntaxe:

```
type nom = nom2
```

Déclarations de types (2)

- ▶ déclarations combinées

Syntaxe:

```
type nom1 = ...  
and nom2 = ...  
and nomn = ...;;
```

- ▶ avec paramètres

Syntaxe:

```
type ( p1,p2,...,pn ) nom = ...;;
```

Enregistrements (1)

Syntaxe:

type $t = \{f_1 : t_1; f_2:t_2; \dots; f_n:t_n\} ;;$

```
1 # type complex = {re:float;im:float};;
2 type complex = { re: float; im: float}
3 # let c = {re=2.;im=3.};;
4 val c : complex = {re=2; im=3}
5 # let mult_complex c1 c2 =
6 match (c1,c2) with
7   ({re=x1;im=y1}, {re=x2;im=y2}) ->
8   {re=x1*.x2-.y1*.y2;im=x1*.y2+.x2*.y1};;
9 val mult_complex :
10   complex -> complex -> complex = <fun>
11 # mult_complex c c;;
12 - : complex = {re=-5; im=12}
```

Enregistrements (2)

- ▶ constructeur : { ... }
 - ▶ accesseurs : .re et .im
-

```
1 # let add_complex c1 c2 =
2   {re=c1.re+c2.re; im=c1.im+c2.im};;
3 val add_complex :
4   complex -> complex -> complex = <fun>
5
6 # add_complex c c;;
7 - : complex = {re=4; im=6}
```

Unions discriminantes

sommes avec constructeurs:

Syntaxe:

$$\text{type } t = C1 \mid C2 \text{ of } t1 \mid \dots \mid C_m \text{ of } t2 \mid C_n$$

Constructeurs constants:

```
1 # type piece = Pile | Face;;
2 type piece = | Pile | Face
3 # Pile;;
4 - : piece = Pile
5 # [Pile; Face; Face; Pile];;
6 - : piece list = [Pile; Face; Face; Pile]
```

Constructeurs avec paramètres

```
1 # type couleur = Pique | Coeur | Carreau | Trefle;;
2 type couleur = | Pique | Coeur | Carreau | Trefle
3 # type carte = As of couleur
4             | Roi of couleur
5             | Dame of couleur
6             | Valet of couleur
7             | Autre of couleur * int
8 ;;
9 type carte = ...
10
11 let valeur couleur_atout cr = match cr with
12 | As _ -> 11
13 | Roi _ -> 4
14 | Dame _ -> 3
15 | Valet c -> if c = couleur_atout then 20 else 2
16 | Autre (_,10) -> 10
17 | Autre (c,9) -> if c = couleur_atout then 14 else 0
18 | _ -> 0;;
```


Types récurifs

Les déclarations de types sont récurives

```
1 # type intArbre = IntEmpty
2   | IntNode of intArbre * int * intArbre ;;
3 type intArbre = ...
4
5 # let monarbre =
6     IntNode ( IntNode ( IntEmpty, 4, IntEmpty ),
7               2,
8               IntNode ( IntEmpty, 1, IntEmpty ) ) ;;
9 val monarbre : intArbre = ...
10
11 # let rec nodes a = match a with
12     IntEmpty -> 0
13 | IntNode (fg, _, fd) -> 1 + (nodes fg) + (nodes fd);;
14 val nodes : intArbre -> int = <fun>
15
16 # nodes monarbre;;
17 - : int = 3
```

Types paramétrés

Les déclarations de types peuvent être paramétrées

```
1 # type 'a arbre = Empty
2   | Node of 'a arbre * 'a * 'a arbre;;
3 type 'a arbre = ...
4
5 # Empty;;
6 - : 'a arbre = Empty
7 # Node (Empty, 1, Empty);;
8 - : int arbre = Node (Empty, 1, Empty)
9 # Node (Empty, 1.0, Empty);;
10 - : float arbre = Node (Empty, 1., Empty)
11 # Node (Node (Empty, 1, Empty), 4, Empty);;
12 - : int arbre = Node (Node (Empty, 1, Empty), 4, Empty)
13
14 # let rec long_ma a = match a with
15   Empty -> 0
16 | Node(fg,_,fd) -> 1 + long_ma fg + long_ma fd;;
17 val long_ma : 'a arbre -> int = <fun>
18
19 # long_ma (Node (Empty, 2, Node (Empty, 3, Empty)));;
20 - : int = 2
21 # long_ma (Node (Empty, 'a', Node (Empty, 'z', Empty)));;
22 - : int = 2
```

Exemple: type option

```
1 # type 'a option = None
2           | Some of 'a;;
3
4 # let x = Some Pique;;
5
6 val x : couleur option = Some Pique
7
8 # let y = None;;
9
10 val y : 'a option = None
11
12 # let create_as oc = match oc with
13   None -> As Pique
14   | Some coul -> As coul;;
15
16 val create_as : couleur option -> carte
```

Fonctions sur les listes (1)

2 constructeurs (infixes) :

- ▶ [] : liste vide
- ▶ :: (cons) : liste non vide

```
1 let rec length_aux len l = match l with
2   [] -> len
3   | a::l -> length_aux (len + 1) l
4
5 let length l = length_aux 0 l
6
7 let rec rev_append l1 l2 =
8   match l1 with
9   [] -> l2
10  | a :: l -> rev_append l (a :: l2)
11
12 let rev l = rev_append l []
13
14 (*
15  val length_aux : int -> 'a list -> int = <fun>
16  val length : 'a list -> int = <fun>
17  val rev_append : 'a list -> 'a list -> 'a list = <fun>
18  val rev : 'a list -> 'a list = <fun>
19 *)
```

Fonctions sur les listes (2)

```
1 let rec map f = function
2   [] -> []
3   | a::l -> let r = f a in r :: map f l
4
5 let rev_map f l =
6   let rec rmap_f accu = function
7     | [] -> accu
8     | a::l -> rmap_f (f a :: accu) l
9   in
10  rmap_f [] l
11 ;;
12
13 (*
14  val map : ('a -> 'b) -> 'a list -> 'b list = <fun>
15  val rev_map : ('a -> 'b) -> 'a list -> 'b list = <fun>
16  *)
```

Fonctions sur les listes (3)

```
1 let rec fold_left f accu l =
2   match l with
3     [] -> accu
4     | a::l -> fold_left f (f accu a) l
5
6 let rec fold_right f l accu =
7   match l with
8     [] -> accu
9     | a::l -> f a (fold_right f l accu)
10
11 (*
12 val fold_left :
13   ('a -> 'b -> 'a) -> 'a -> 'b list -> 'a = <fun>
14 val fold_right :
15   ('a -> 'b -> 'b) -> 'a list -> 'b -> 'b = <fun>
16 *)
```

Fonctions sur les listes (4)

```
1 fold_left (+) 0 [8;4;10];;  
2 (* - : int = 22 *)  
3  
4 fold_right (+) [8; 4; 10] 0;;  
5 (* - : int = 22 *)  
6  
7 fold_left (/) 0 [8;4;10];;  
8 (* - : int = 0 *)  
9  
10 fold_right (/) [8;4;10] 0;;  
11 (* Exception: Division_by_zero. *)
```

Exemple: arbres (1)

Représentation des arbres:

```
1 # type 'a arbre = Empty
2 | Node of 'a * 'a arbre list;;
3 type 'a arbre = ...
4
5 # let rec nombre_noeud a = match a with
6   Empty -> 0
7 | Node (_,[]) -> 1
8 | Node (_,h::t) ->
9     1 + (List.fold_left (+) (nombre_noeud h) (List.map ↵
10         nombre_noeud t));;
11
12 # let rec hauteur a = match a with
13   Empty -> 0
14 | Node (_,[]) -> 1
15 | Node (_,h::t) ->
16     1 + (List.fold_left (max) (hauteur h) (List.map ↵
17         hauteur t));;
18
19 val nombre_noeud : 'a arbre -> int = <fun>
20
21 val hauteur : 'a arbre -> int = <fun>
```


Exemple arbres (2)

```
1 # let rec somme_noeud a = match a with
2   Empty -> 0
3   | Node (e,[]) -> e
4   | Node (e,h::t) ->
5     e + (List.fold_left (+) (somme_noeud h) (List.map <←
6       somme_noeud t));;
7
8 # let rec app_arbre e a =
9   let rec app_s_arbre l = match l with
10     [] -> false
11     | h::t -> app_arbre e h || app_s_arbre t
12   in
13     match a with Empty -> false
14     | Node (ne,l) ->
15       ne = e || app_s_arbre l;;
16 val app_arbre : 'a -> 'a arbre -> bool =
```

Types fonctionnels

```
1 type 'a listf =
2   Val of 'a
3   | Fun of ('a -> 'a) * 'a listf ;;
4 (* type 'a listf = | Val of 'a | Fun of ('a -> 'a) * 'a ←
   listf *)
5
6 let huit_div = (/) 8 ;;
7 (* val huit_div : int -> int = <fun> *)
8
9 let gl = Fun (succ, (Fun (huit_div, Val 4))) ;;
10 (* val gl : int listf = Fun (<fun>, Fun (<fun>, Val 4))*
11
12 let rec compute = function
13   Val v -> v
14   | Fun(f, x) -> f (compute x) ;;
15 (* val compute : 'a listf -> 'a = <fun> *)
16 compute gl;;
17 (* - : int = 3 *)
```

Typage et domaine de définition

type inféré \neq domaine de définition:

- ▶ c'est une approximation
- ▶ exemple : division entière, tête de liste vide
- ▶ provient souvent d'un filtrage non exhaustif

Que faire?:

- ▶ utiliser une valeur spéciale

```
1 # asin 2.;;  
2 - : float = NaN
```

- ▶ effectuer une rupture de calcul jusqu'à un récupérateur (exceptions)

Exceptions

Une exception est une rupture de calcul.
utilisée :

- ▶ pour éviter les erreurs de calcul
 - ▶ division par zéro
 - ▶ accès à la référence `null`
 - ▶ ouverture d'un fichier inexistant
 - ▶ ...
- ▶ comme style de programmation

En Java une exception est un objet

Exceptions

Syntaxe:

Exception *E1*;; *ou* **Exception** *E1* of *t1*;;

- ▶ une exception est une valeur de type *exn*
 - ▶ le type *exn* est un type somme monomorphe **extensible**
-

```
1 # exception A_MOI;;
2 exception A_MOI
3 # A_MOI;;
4 - : exn = A_MOI
5 # exception Depth of int;;
6 exception Depth of int
7 # Depth 4;;
8 - : exn = Depth(4)
```

Déclenchement d'une exception

`raise : exn -> 'a`

- ▶ impossible à écrire \Rightarrow primitive
 - ▶ l'expression `(raise E1)` n'a pas de contrainte de type
-

```
1 # raise A_MOI;;  
2 Uncaught exception: A_MOI  
3 # let x = 18;;  
4 val x : int = 18  
5 # if (x = 0) then raise A_MOI else x;;  
6 - : int = 18
```

Déclarations et déclenchements (1)

```
1 # exception Echec of string;;
2 exception Echec of string
3
4 # let declenche_echec s = raise (Echec s);;
5 val declenche_echec : string -> 'a = <fun>
6
7 # declenche_echec "argument invalide";;
8 Exception: Echec "argument invalide".
```

la fonction failwith s'écrit :

```
1 let failwith s = raise (Failure s);;
2 let invalid_argument s =
3     raise (Invalid_argument s);;
```

Déclarations et déclenchements (2)

```
1 # exception OrthoExn of int * int * string;;
2 exception OrthoExn of int * int * string
3
4 # raise (OrthoExn (3, 6, "le caml"));
5 Exception: OrthoExn (3, 6, "le caml").
6
7 # exception FuncTreat of (int -> int);;
8 exception FuncTreat of (int -> int)
9
10 # raise (FuncTreat (fun x -> x + 1));
11 Exception: FuncTreat <fun>.
```


Déclarations et déclenchements (3)

Filtrage de motifs incomplet:

```
1 # let tete l = match l with t::q -> t;;
2 Warning: this pattern-matching is not exhaustive.
3 Here is an example of a value that is not matched:
4 []
5 val tete : 'a list -> 'a = <fun>
6
7 # tete [1;2;3];;
8 - : int = 1
9
10 # tete [];;
11 Exception: Match_failure ("", 13, 35).
```

Déclarations et déclenchements (4)

```
1 # exception Found_zero;;
2 exception Found_zero
3
4 # let rec mult_aux l= match l with
5     h::[] -> h
6     | 0::t -> raise Found_zero
7     | h::t -> h * mult_aux t;;
8 Warning: this pattern-matching ...
9 val mult_aux : int list -> int = <fun>
```

Récupération d'exceptions

Syntaxe:

try expr **with** filtrage

Le type des motifs du *filtrage* doit être *exn*.

```
1 # let mult_list l = match l with
2   [] -> 0
3 | lo -> try mult_aux lo with
4     Found_zero -> 0;;
5 val mult_list : int list -> int = <fun>
6
7 # mult_list [1;2;3;0;5;6];;
8 - : int = 0
```

Module List (1)

```
1
2 let hd = function
3     [] -> failwith "hd"
4     | a::l -> a
5
6 let tl = function
7     [] -> failwith "tl"
8     | a::l -> l
9
10 let rec nth l n =
11     match l with
12     [] -> failwith "nth"
13     | a::l ->
14         if n = 0 then a else
15         if n > 0 then nth l (n-1) else
16         invalid_arg "List.nth"
```

Module List (2)

```
1
2 #let rec fold_left f accu l =
3   match l with
4     [] -> accu
5     | a::l -> fold_left f (f accu a) l
6 val fold_left : ('a -> 'b -> 'a) -> 'a -> 'b list -> 'a = ↵
   <fun>
7
8 # let rec fold_right f l accu =
9   match l with
10    [] -> accu
11    | a::l -> f a (fold_right f l accu)
12 val fold_right : ('a -> 'b -> 'b) -> 'a list -> 'b -> 'b =↵
   <fun>
```

Exemples fonctionnels

```
1
2 # fold_left (/) 1000 [3;5;11];;
3 - : int = 6
4 # fold_left (/) 1000 [3;0;11];;
5 Exception: Division_by_zero.
6
7 # let idiv a b = b / a;;
8 val idiv : int -> int -> int = <fun>
9 # fold_right idiv [3;5;11] 1000;;
10 - : int = 6
11 # fold_right idiv [3;0;11] 1000;;
12 Exception: Division_by_zero.
```

Exemple : filtrage d'une liste

- ▶ filtrage des éléments d'une liste par un prédicat
- ▶ sans recopie inutile

```
1
2 # exception Identity;;
3 exception Identity
4 # let share f x = try f x with Identity -> x;;
5 val share : ('a -> 'a) -> 'a -> 'a = <fun>
6
7 # let filter f l =
8   let rec fil l = match l with
9     | [] -> raise Identity
10    | h :: t ->
11      if f h then h :: fil t else share fil t in
12   share fil l;;
13 val filter : ('a -> bool) -> 'a list -> 'a list = <fun>
```

Utilisation des exceptions

- ▶ Gestion de situations exceptionnelles où le calcul ne peut pas se poursuivre → rupture du calcul
- ▶ style de programmation : exemple précédent (`filter`)

Attention au coût du `try`