

## Modèles de Programmation



Emmanuel Chailoux

# PLAN

- ▶ programmation impérative
  - ▶ Entrées/sorties
  - ▶ valeurs physiquement modifiables
  - ▶ structures de contrôle
- ▶ éléments de choix du style (fonctionnel ou impératif)
- ▶ représentation des fermetures
- ▶ évaluation retardée et streams

# Programmation impérative

- ▶ modèle plus proche des machines réelles
- ▶ tout est dans  $X := X + 1$ 
  - ▶ exécution d'une instruction (action) qui modifie l'état mémoire
  - ▶ passage à une nouvelle instruction dans le nouvel état mémoire
- ▶ modèle des langages Fortran, Pascal, C, Ada, ...

## Canaux:

- ▶ types : *in\_channel* et *out\_channel*
- ▶ fonctions : *open\_in* : *string* → *in\_channel* (*close\_in*)  
*open\_out* : *string* → *out\_channel* (*close\_out*)
- ▶ exception : *End\_of\_file*
- ▶ canaux prédéfinis : *stdin*, *stdout* et *stderr*
- ▶ fonctions de lecture et d'écriture sur les canaux
- ▶ organisation et accès séquentiels
- ▶ type *open\_flag* pour les modes d'ouverture

# Principales fonctions d'ES

<code>input</code>	: <code>in_channel</code> $\rightarrow$ <code>string</code> $\rightarrow$ <code>int</code> $\rightarrow$ <code>int</code> $\rightarrow$ <code>int</code>
<code>input_line</code>	: <code>in_channel</code> $\rightarrow$ <code>string</code>
<code>output</code>	: <code>out_channel</code> $\rightarrow$ <code>string</code> $\rightarrow$ <code>int</code> $\rightarrow$ <code>int</code> $\rightarrow$ <code>unit</code>
<code>output_string</code>	: <code>out_channel</code> $\rightarrow$ <code>string</code> $\rightarrow$ <code>unit</code>
<code>read_line</code>	: <code>unit</code> $\rightarrow$ <code>string</code>
<code>read_int</code>	: <code>unit</code> $\rightarrow$ <code>int</code>
<code>print_string</code>	: <code>string</code> $\rightarrow$ <code>unit</code>
<code>print_int</code>	: <code>int</code> $\rightarrow$ <code>unit</code>
<code>print_newline</code>	: <code>unit</code> $\rightarrow$ <code>unit</code>

## Exemple : C+/C-

```
1 # let rec cpcm n =
2   let _ = print_string "taper un nombre : " in
3   let i = read_int () in
4     if i = n then print_string "BRAVO\n\n"
5     else let _ = (if i < n then print_string "C+\n"
6                  else print_string "C-\n")
7             in cpcm n;;
8 val cpcm : int -> unit = <fun>
9
10 # cpcm 64;;
11 taper un nombre : 88
12 C-
13 taper un nombre : 44
14 C+
```

## Valeurs physiquement modifiables

- ▶ valeurs structurées dont une partie peut être physiquement (en mémoire) modifiée;
- ▶ vecteurs, enregistrements à champs modifiables, chaînes de caractères, références

⇒ nécessite de contrôler l'ordre du calcul!!!

**Attention:** l'ordre d'évaluation des arguments n'est pas spécifié.

## Vecteurs (1)

- ▶ regroupent un nombre connu d'éléments de même type
- ▶ création : `Array.create` :  $int \rightarrow 'a \rightarrow 'a \text{ array}$ ,
- ▶ longueur : `Array.length` :  $'a \text{ array} \rightarrow int$
- ▶ accès :  $e_1.(e_2)$
- ▶ modification :  $e_1.(e_2) \leftarrow e_3$

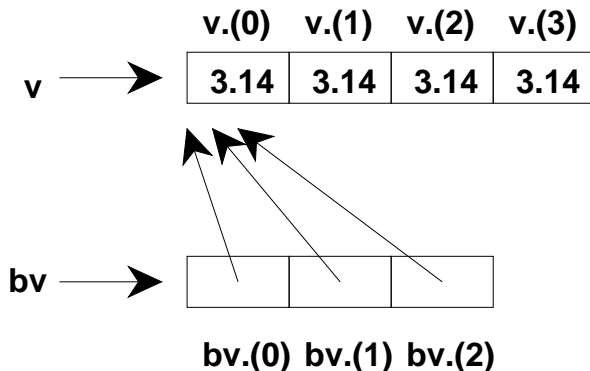


## Vecteurs (2)

```
1 # let v = Array.create 4 3.14;;
2 val v : float array = [|3.14; 3.14; 3.14; 3.14|]
3
4 # v.(1) ;;
5 - : float = 3.14
6
7 # v.(8) ;;
8 Exception: Invalid_argument "Array.get".
9
10 # v.(0) <- 100.;;
11 - : unit = ()
12
13 # v;;
14 - : float array = [|100.; 3.14; 3.14; 3.14|]
```

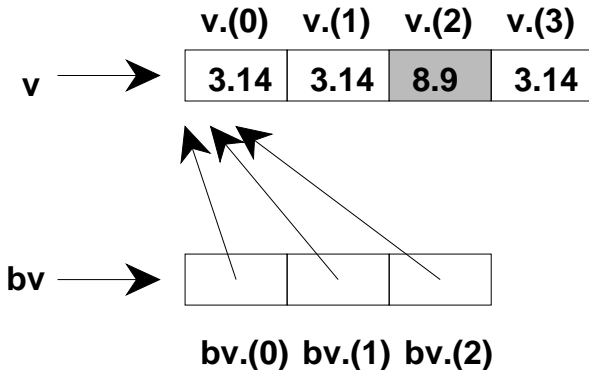
# Représentation mémoire (1)

```
1 # let bv = Array.create 3 v;;
```



## Représentation mémoire (2)

```
1 # v.(2) <- 8.9;;
```



```
1 # if bv.(1).(2) = 8.9 then "A" else "B";;
```

# Fonctions sur les vecteurs

- ▶ création matrice

- ▶ `Array.make_matrix` :  $int \rightarrow int \rightarrow 'a \rightarrow 'a \text{ array array}$

- ▶ itérateurs

- ▶ `iter` :  $('a \rightarrow unit) \rightarrow 'a \text{ array} \rightarrow unit$

- ▶ `map` :  $('a \rightarrow 'b) \rightarrow 'a \text{ array} \rightarrow 'b \text{ array}$

- ▶ `iteri` :  $(int \rightarrow 'a \rightarrow unit) \rightarrow 'a \text{ array} \rightarrow unit$

- ▶ `mapi`, `fold_left`, `fold_right`, ...

## Enregistrements à champs mutables

- ▶ indication à la déclaration de type d'un champs est "mutable"
- ▶ accès identique  $e_1.f_i$ , modification  $e_1.f_i \leftarrow e_2$

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

---

```
1 # type point = {mutable x : float; mutable y : float};;
2 type point = { mutable x: float; mutable y: float }
3 # let p = {x=1.; y=1.};;
4 val p : point = {x=1; y=1}
5 # p.x <- p.x +. 1.0;;
6 - : unit = ()
7 # p;;
8 - : point = {x=2; y=1}
```

# Chaînes de caractères

- ▶ les chaînes sont des valeurs modifiables (fonction input)
  - ▶ accès :  $e_1.[e_2]$
  - ▶ modification :  $e_1.[e_2] <- e_3$
- 

```
1 # let s = "bonjour";;
2 val s : string = "bonjour"
3 # s.[3];;
4 - : char = 'j'
5 # s.[3] <- '-';;
6 - : unit = ()
7 # s;;
8 - : string = "bon-our"
```

## Références

- ▶ sous-cas historique utilisant maintenant des records mutables
    - ▶ **type** 'a ref = {**mutable** contents:'a}
    - ▶ !e<sub>1</sub> ≡ e<sub>1</sub>.contents
    - ▶ e<sub>1</sub>:=e<sub>2</sub> ≡ e<sub>1</sub>.contents<-e<sub>2</sub>
- 

```
1 # let incr x = x := !x + 1;;
2 val incr : int ref -> unit = <fun>
3 # let z = ref 3;;
4 val z : int ref = {contents=3}
5 # incr z;;
6 - : unit = ()
7 # z;;
8 - : int ref = {contents=4}
9 # (ref 3) := 2;;
```

## Structures de contrôle

- ▶ séquentielle :  $e_1; e_2; \dots; e_n$   
regroupée : ( ... ) ou **begin ... end**  
le type de la séquence est le type de  $e_n$
- ▶ conditionnelle : **if**  $c_1$  **then**  $e_2$  ( $e_2$  de type *unit*)
- ▶ itératives :
  - ▶ **while**  $c$  **do**  $e$  **done**
  - ▶ **for**  $v=e_1$  [**down**]**to**  $e_2$  **do**  $e_3$  **done**

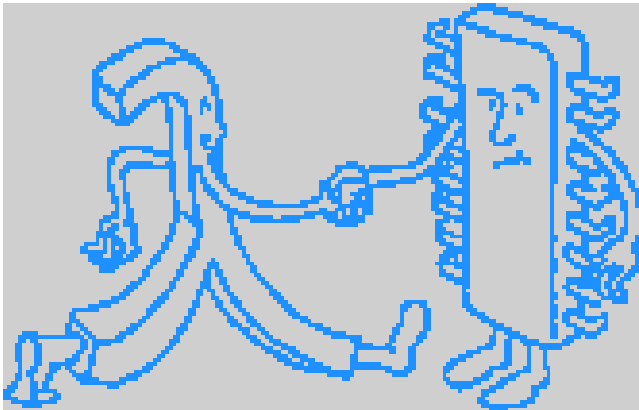
La conditionnelle et les boucles sont des expressions de type *unit*



## Exemple : somme de 2 vecteurs

```
1 #let somme a b =
2   let al = Array.length a and bl = Array.length b in
3   if al <> bl then failwith "somme"
4   else if al = 0 then a
5       else
6         let c = Array.create al a.(0) in
7           for i=0 to al-1 do
8             c.(i) <- a.(i) + b.(i)
9           done;
10          c;;
11 val somme : int array -> int array -> int array = <fun>
12 # somme [|1; 2; 3|] [| 9; 10; 11|];;
13 - : int array = [|10; 12; 14|]
```

# Style fonctionnel-impératif



# Style fonctionnel ou impératif

- ▶ utiliser le bon style selon les structures de données et leurs manipulations (par copie ou en place)
  - ▶ impératif sur les matrices (en place)
  - ▶ fonctionnel sur les arbres (par copie)
- ▶ mélanger les deux styles
  - ▶ valeurs fonctionnelles modifiables
  - ▶ implantation de l'évaluation retardée

## Fonction : map

### ► style fonctionnel

```
1 # let rec fmap f l = match l with
2   [] -> []
3   | h::t -> let r = f h in r::(fmap f t);;
4 val fmap : ('a -> 'b) -> 'a list -> 'b list = <fun>
```

### ► style impératif

```
1 # let imap f l =
2   let nl = ref l
3   and nr = ref [] in
4   while (!nl <> []) do
5     nr := ( f (List.hd !nl) ) :: (!nr);
6     nl := List.tl !nl
7   done;
8   List.rev !nr;;
9 val imap : ('a -> 'b) -> 'a list -> 'b list = <fun>
```

# Transposée de matrice

## ► style impératif

```
1 # let itrans m = let l = Array.length m in
2   for i=0 to l-1 do
3     for j=i to l-1 do
4       let v = m.(i).(j) in
5         m.(i).(j) <- m.(j).(i);
6         m.(j).(i) <- v
7     done done;;
8 val itrans : 'a array array -> unit = <fun>
```

## ► style fonctionnel

```
1 # let rec ftransl l = match l with
2   []::_ -> []
3   | _ -> (List.map List.hd l) ::
4           ftransl (List.map List.tl l);;
5 val ftransl : 'a list list -> 'a list list = <fun>
```

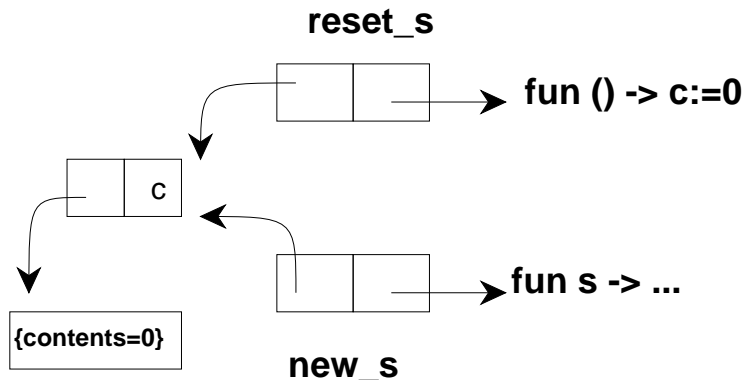
# Représentation des fermetures

- ▶ couple : code - environnement
  - ▶ code : adresse mémoire du **function** compilé
  - ▶ environnement : contient les valeurs des variables libres non globales du corps du **function**
- ▶ connaissance à la compilation de la position d'une variable dans l'environnement
- ▶ permet l'extension de portée d'une déclaration locale

# Générateur de symboles

```
1 # let reset_s ,new_s = let c = ref 0 in
2   ( function () -> c := 0 ),
3   ( function s -> c:=!c+1; s^(string_of_int !c));;
4 val reset_s : unit -> unit = <fun>
5 val new_s : string -> string = <fun>
6
7 # new_s "VAR" ;;
8 - : string = "VAR1"
9 # new_s "VAR" ;;
10 - : string = "VAR2"
11
12 # reset_s ();;
13 - : unit = ()
14 # new_s "WAR" ;;
15 - : string = "WAR1"
```

# Représentation mémoire





## Listes codées par des fermetures (1)

```
1 # exception Empty_list;;
2 exception Empty_list
3 # let nil = function x -> raise Empty_list;;
4 val nil : 'a -> 'b = <fun>
5 # let lpm = ref nil;;
6 val lpm : ('_a -> '_b) ref = {contents=<fun>}
7 # let cons a l =
8     function e ->
9         print_int a; print_string "-"; print_int e;
10        if e = a then true else l e;;
11 val cons : int -> (int -> bool) -> int -> bool = <fun>
12 # let mcons a l = l := cons a (!l);;
13 val mcons : int -> (int -> bool) ref -> unit = <fun>
14 # mcons 3 lpm;;
15 - : unit = ()
16 # lpm;;
17 - : (int -> bool) ref = {contents=<fun>}
18 # mcons 8 lpm;;
19 - : unit = ()
```

## Listes codées par des fermetures (2)

```
1 # let mem a l =
2   try !l a
3     with Empty_list -> false;;
4 val mem : 'a -> ('a -> bool) ref -> bool = <fun>
5 # mem 3 lpm;;
6 8-3 3-3
7 - : bool = true
8 # mem 9 lpm;;
9 8-9 3-9
10 - : bool = false
```

# Evaluation retardée

calcul gelé dans une fermeture :

```
1 # type 'a v =
2   Imm of 'a
3   | Ret of (unit -> 'a) ;;
4
5 # type 'a vm = {mutable c : 'a v } ;;
6
7 # let eval e = match e.c with
8   Imm a -> a
9   | Ret f -> let u = f () in
10              ( e.c <- Imm u;u) ;;
11 val eval : 'a vm -> 'a = <fun>
```

## If fonctionnel retardé

```
1 # let si_ret c e1 e2 =
2   if eval c then eval e1 else eval e2;;
3
4 val si_ret : bool vm -> 'a vm -> 'a vm -> 'a = <fun>
5
6 # let rec facr n =
7   si_ret {c=Ret(fun () -> n = 0)}
8         {c=Ret(fun () -> 1)}
9         {c=Ret(fun () -> n*(facr(n-1)))}};;
10
11 val facr : int -> int = <fun>
12
13 # facr 5;;
14 - : int = 120
```

## Module Lazy

```
1 # let u = lazy (print_string "trace";
2                 print_newline(); 4*5);;
3 val u : int Lazy.status ref = {contents=Lazy.Delayed <fun ↵
4   >}
5 # Lazy.force u;;
6 trace
7 - : int = 20
8 # Lazy.force u;;
9 - : int = 20
```

L'évaluation retardée permet de manipuler des données potentiellement infinies!!!

## Structures paresseuses modifiables

```
1 # type 'a ens = {mutable i : 'a; f : 'a -> 'a};;
2 type 'a ens = { mutable i: 'a; f: 'a -> 'a }
3 # let next e = let x = e.i in e.i <- e.f e.i; x;;
4 val next : 'a ens -> 'a = <fun>
5
6 # let nat = {i=0; f=fun x -> x + 1};;
7 val nat : int ens = {i=0; f=<fun>}
8 # [next nat; next nat; next nat];;
9 - : int list = [2; 1; 0]
10
11 # let fib = {i=1; f= let c = ref 0 in
12                   fun v -> let r = !c + v in c:=v;r};;
13 val fib : int ens = {i=1; f=<fun>}
14 # [next fib; next fib; next fib; next fib];;
15 - : int list = [3; 2; 1; 1]
```

# Streams

- ▶ flots ou flux
- ▶ séquence, d'éléments de même type
- ▶ potentiellement infinie
- ▶ type abstrait
- ▶ filtrage sur les *streams*
- ▶ utilisée pour les analyses lexicale et syntaxique
- ▶ analyseur descendant (prédicatif)
- ▶ sans contexte ou avec contexte
- ▶ extension du langage O'CAML

# Construction de streams

```
1 $ ocaml
2       Objective Caml version 3.10.0
3
4 # #load "camlp4o.cma";;
5       Camlp4 Parsing version 3.10.0
6
7 #
8
9 # [<>];;
10 - : 'a Stream.t = <abstr>
11 # [< '0; '2; '4 >];;
12 - : int Stream.t = <abstr>
13 # let s = [< '1; '3>] in [< s; '8 >];;
14 - : int Stream.t = <abstr>
```

Les éléments non *quotés* sont vus comme des sous-streams.



## Fonctions prédéfinies

<code>Stream.of_channel</code>	:	<code>in_channel</code>	$\rightarrow$	<code>char Stream.t</code>
<code>Stream.of_string</code>	:	<code>string</code>	$\rightarrow$	<code>char Stream.t</code>
<code>Stream.of_list</code>	:	<code>'a list</code>	$\rightarrow$	<code>'a Stream.t</code>

# Filtrage de streams

Syntaxe:

`match e with parser  $p_1 \rightarrow e_1$  | ... |  $p_n \rightarrow e_n$`

---

```
1
2 # let next s =
3   match s with parser
4     [< 'x >] -> x
5     | [< >] -> raise (Failure "stream vide");;
6     val next : 'a Stream.t -> 'a = <fun>
7 # let s = [< '0; '1; >];;
8 val s : int Stream.t = <abstr>
9 # next s;;
10 - : int = 0
11 # next s;;
12 - : int = 1
```

# Accès destructif

```
1 # next s;;
2 Uncaught exception: Failure("stream vide")
3 # let rec somme s =
4   match s with parser
5     [<'x ; p = somme >] -> x+p
6   | [<>] -> 0;;
7 val somme : int Stream.t -> int = <fun>
8 # let x = [< '1; '2; '3; '4 >];;
9 val x : int Stream.t = <abstr>
10 # somme x;;
11 - : int = 10
12 # somme x;;
13 - : int = 0
```

# Résumé des expressions

```
1  expr ::= ...
2      | [| expr; expr; ...; expr |]
3      | expr.(expr) | expr.(expr) <- expr
4      | expr.champs | expr.champs <- expr
5      | ref expr | !expr | expr := expr
6      | expr.[expr] | expr.[expr] <- expr
7      | [< 'e1; 'e2; e3; ...; en >]
8      | lazy expr
9      | match expr with parse filtrage
```