Axe 2 : concepts premiers

3. Programmation

4. Pratique

1. Types

3. Programmation

La 1re chose à apprendre

En Caml, un commentaire est constitué de tout ce qui est délimité par `(*` et `*)`.

– Exemple –

```
(* Ceci est un commentaire. *)
```

Les symboles `(*` et `*)` **fonctionnent comme des parenthèses** : il est possible d'appareiller chaque `(*` avec un unique `*)`. Il est ainsi possible d'imbriquer les commentaires.

– Exemples –

```
(* Ceci est un commentaire (* imbrique. *) *)
```

En Caml, ceci fonctionne.

```
/* Ceci est un commentaire /* imbrique. */ */
```

En C, ceci ne fonctionne pas.

Plan

3. Programmation

Différents modes d'utilisation

Il existe trois modes principaux pour programmer en Caml :

1. écrire un programme dans un fichier d'extension `.ml` et le compiler avec le compilateur bytecode ;
2. écrire un programme dans un fichier d'extension `.ml` et le compiler avec le compilateur natif ;
3. ouvrir l'interpréteur Caml et écrire du code, ou bien en importer.

Les deux premières méthodes fournissent un exécutable (voir plus loin).

La 3e est intéressante car elle permet de faire du **développement incrémental**, c.-à-d. l'écriture et le test pas à pas des fonctions nécessaires à la résolution d'un problème.

Dans ce cas, le programme n'est pas exécuté mais est **interprété**.

Interpréteur

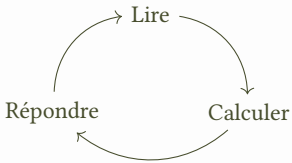
L'interpréteur se lance avec la commande `ocaml` ou mieux, `rlwrap ocaml` pour avoir accès à l'historique.

```
        Objective Caml version 4.13.1

#
```

Celle-ci lance une boucle d'interaction qui se comporte, de manière répétée, de la façon suivante :

1. le programmeur **écrit** une phrase ;
2. le système l'**interprète** ;
3. le système affiche le **résultat** de la phrase.



Ce cycle est suivi jusqu'à ce que l'utilisateur l'interrompe en saisissant un CTRL+D ou bien `exit 0;;`.

Phrases et réponses

Une phrase est une **expression** terminée par `;;` (fin de phrase).

– Exemple –

```
# 1 + 1;;
```

Elle peut tenir sur plusieurs lignes

– Exemple –

```
# 1
  + 1;;
```

L'utilisateur demande l'évaluation d'une phrase en appuyant sur **Entrée** et le système fournit ensuite sa réponse.

– Exemple –

```
# 1 + 1;;
- : int = 2
```

Explications :

- le signe `-` signifie qu'une **valeur** a été calculée ;
- `: int` signifie que cette valeur est de **type** `int` ;
- `= 2` signifie que cette valeur **est** `2`.

3. Programmation

Nommer une valeur

De la même manière que l'on peut écrire en mathématiques

« Soit n l'entier 5. »,

pour définir ce que représente le symbole « n », il est possible en programmation CAML de donner un nom à une valeur. Ceci s'appelle une définition, ou encore une liaison d'un nom à une valeur.

On utilise pour cela la construction syntaxique

```
let ID = VAL
```

où `ID` est un nom (identificateur) et `VAL` est une expression.

– Exemple –

```
# let n = 5;;
val n : int = 5

# n;;
- : int = 5
```

La 1re phrase lie au nom `n` la valeur `5`. L'interpréteur **le signale** en commençant sa réponse par `val n`.

La 2e phrase donne la valeur à laquelle `n` est liée.

Liaisons locales

Il est possible de définir des noms **localement** à une expression. La portée lexicale d'un nom défini localement est étendue à l'expression où figure sa définition. On utilise pour cela la construction syntaxique

```
let ID = VAL in EXP
```

où `ID` est un nom, `VAL` est une expression et `EXP` est une expression.

Très important : cette expression **possède comme valeur** celle de `EXP` dans laquelle les occurrences libres de `ID` sont remplacées par `VAL`.

– Exemples –

```
# let n = 5 in n + 1;;
- : int = 6
```

La 2e occurrence de `n` a pour valeur `5` à cause de la liaison locale précédente. Ainsi, `n + 1` a pour valeur `6`, ainsi donc que toute l'expression.

```
# let n = 3;;
val n : int = 3
```

```
# let n = 4 in 2 * n;;
- : int = 8
```

```
# n;;
- : int = 3
```

La liaison de `n` à `4` dans la 2e phrase est locale : le nom global `n` défini en 1re phrase reste inchangé. Ceci renseigne sur la valeur du nom `n` de la 3e phrase.

Liaisons locales — exemples

La règle pour comprendre une phrase définissant un nom est de **relier** chaque occurrence d'un nom `x` à sa définition.

– Exemples –

```
# let s = 2 in
      let s = s * s in
          let s = s * s in
              s + 4;;
- : int = 20
```

Chaque occurrence du nom `s` fait référence à la valeur du nom `s` de la liaison précédente. On retrouve ainsi le résultat affiché.

```
# let s =
      let x = 3 in
          x * x;;
val s : int = 9
```

Le nom `s` est lié à la valeur `9`.
En effet, la sous-expression `let x = 3 in x * x` a pour valeur `9`.
Il est possible de mettre cette sous-expression entre parenthèses pour augmenter la lisibilité.

Liaisons locales — exemples

– Exemples –

```
# let x =
      let y = 2 in
          let z = 3 in
              y + let z = 8 in
                  z * z;;
Warning 26: unused variable z.
val x : int = 66
```

La nom `z` défini en l. 3 n'est pas utilisé pour attribuer une valeur au nom `x`.

L'interpréteur le signale par un message d'avertissement.

```
# let x = let y = 2 in
      x + y;;
Error: Unbound value x
```

L'évaluation de cette phrase produit une erreur lors de son interprétation. En effet, le nom `x` de la l. 2 n'est pas défini.

Liaisons (locales) simultanées

Il est possible de définir des noms ou de réaliser des liaisons locales **simultanément** dans une même phrase. On utilise pour cela les constructions syntaxiques

```
let ID1 = VAL1 and ID2 = VAL2
```

ou

```
let ID1 = VAL1 and ID2 = VAL2 in EXP
```

où `ID1` et `ID2` sont des identificateurs, et `VAL1`, `VAL2` et `EXP` sont des expressions.

– Exemples –

```
# let x = 1 and y = 2;;
val x : int = 1
val y : int = 2
```

Cette phrase lie simultanément au nom `x` la valeur `1` et au nom `y` la valeur `2`.

```
# let x = 1 in
      let y = 3
      and z = 4 in
          x + y + z;;
- : int = 8
```

Il est possible d'imbriquer les définitions locales et simultanées.
On notera l'indentation différente impliquée par les `in` et les `and`.

Liaisons simultanées — exemples

– Exemples –

```
# let x = 1 in
      let x = 2
      and y = x + 3 in
          x + y;;
- : int = 6
```

Dans la définition du nom `y`, l'occurrence de `x` qui y apparaît est celle définie en l. 1.

```
# let x = 1 in
      let x = 2 in
          let y = x + 3 in
              x + y;;
Warning 26: unused variable x.
- : int = 7
```

Cette phrase est obtenue en remplaçant dans le phrase précédente le **`and`** par un **`in let`**.

Le résultat est différent du précédent : dans la définition du nom `y`, l'occurrence de `x` qui y apparaît est celle définie en l. 2.

Liaisons simultanées — exemples

– Exemples –

```
# let x = 1
  and y = 2
  and z = let x = 16 in
      x * x * x;;
val x : int = 1
val y : int = 2
val z : int = 4096
```

```
# let x = 1
  and y = x + 1;;
Error: Unbound value x
```

Il y a trois liaisons simultanées.

L'occurrence du nom `x` en l. 4 fait référence à la définition de `x` en l. 3. Cette définition n'influe pas sur la définition de `x` en l. 1.

L'évaluation de cette phrase produit une erreur lors de son interprétation. En effet, le nom `x` de la l. 2 n'est pas défini.

Différence entre liaisons et liaisons locales

Les liaisons `let ID = VAL` et les liaisons locales `let ID = VAL in EXP` sont des entités totalement différentes.

En effet,

- une liaison `let ID = VAL` permet de former une phrase qui **n'a pas de valeur** et dont le but est de créer un alias `ID` pour la valeur de `VAL` dans la suite du programme.

– Exemple –

```
# let x = 3;;
val x : int = 3
# x + 1;;
- : int = 4
```

- Une liaison locale `let ID = VAL in EXP` permet de former une phrase qui **a une valeur** et qui est celle de `EXP` dans laquelle les occurrences de `ID` sont remplacées par la valeur de `VAL`.

– Exemple –

```
# let x = 3 in x + 1;;
- : int = 4
```

Plan

3. Programmation

Les six types de base

Nom du type	Utilisation
`int`	Représentation des **entiers signés**
`float`	Représentation des **nombres à virgule signés**
`char`	Représentation des **caractères**
`string`	Représentation des **chaînes de caractères**
`bool`	Représentation des **booléens**
`unit`	Type contenant une **unique valeur**

Le type `bool`

Le type `bool` contient exactement deux valeurs : `true` et `false`.

Opérateur	Arité	Rôle
`not`	1	Non logique
`&&`	2	Et logique
`||`	2	Ou logique

Ces opérateurs produisent des valeurs de type `bool`.

– Exemples –

```
# (false || (not false)) && (not (true || false));;
- : bool = false

# not true && false;;
- : bool = false
```

Règle : ne pas hésiter à introduire des parenthèses (sans exagérer) pour gagner en lisibilité.

Le type `int`

Une valeur de type `int` peut s'écrire en

- **décimal**, sans préfixe ;
- **hexadécimal**, avec le préfixe `0x` ;
- **binaire**, avec le préfixe `0b`.

– Exemples –

- `0`, `1024`, `-82`
- `0x0`, `0x400`, `-0xAE00F23`
- `0b1011011`, `-0b101`

La plage des `int` s'étend de `min_int` à `max_int`.

Sur un système `64` bits, ceci va de

$$-2^{62} = -4611686018427387904 \qquad \text{à} \qquad 2^{62} - 1 = 4611686018427387903.$$

La plage ne s'étend pas de -2^{n-1} à $2^{n-1} - 1$. Il y a effet utilisation d'un bit pour la gestion automatique de la mémoire.

Opérations arithmétiques sur les `int`

Opérateur	Arité	Rôle
`-`, `+`	1	Moins, Plus (signe)
`-`, `+`	2	Soustraction, Addition
`/`, `*`	2	Division, Multiplication
`succ`	1	Successeur
`pred`	1	Prédécesseur
`abs`	1	Valeur absolue
`mod`	2	Modulo

Ces opérateurs produisent des valeurs de type `int`.

`succ`, `pred` et `abs` sont des fonctions.

`mod` n'est pas une fonction, c'est un opérateur.

Opérations relationnelles sur les `int`

Opérateur	Arité	Rôle
`=`, `<>`	2	Égalité, Différence
`<`, `>`	2	Comparaison stricte
`<=`, `>=`	2	Comparaison large

Ces opérateurs produisent des valeurs de type `bool`.

– Exemple –

```
# (2 = 1) || (32 <= 64);;
- : bool = true
```

Opérations bit à bit sur les `int`

Opérateur	Arité	Rôle
`lnot`	1	Non bit à bit
`land`	2	Et bit à bit
`lor`	2	Ou bit à bit
`lxor`	2	Ou exclusif bit à bit
`lsl`, `lsr`	2	Décalage à gauche, droite bit à bit
`asr`	2	Décalage à droite avec respect du signe bit à bit

Ces opérateurs produisent des valeurs de type `int`.

– Exemples –

```
# 1 lsl 10;;
- : int = 1024
```

```
# (lnot 0) lsr 1;;
- : int = 4611686018427387903
```

Le type `float`

Le type `float` permet de représenter des nombres à virgule.

Une valeur de type `float` s'écrit obligatoirement avec une virgule « `.` ».

– Exemple –

`4.52` est l'écriture du nombre 4.52.

Le zéro à virgule s'écrit `0.`.

– Exemples –

```
# 0;;
- : int = 0
```

```
# 0.;;
- : float = 0.
```

La plage des `float` s'étend de -`max_float` à `max_float`.

Sur un système `64` bits, ceci va de

$-\texttt{max\_float} = -1.79769313486231571 \times 10^{308}$ à $\texttt{max\_float} = 1.79769313486231571 \times 10^{308}$.

Opérations sur les `float`

Règle : les opérations arithmétiques sur les `int` ont leur analogue sur les `float` en ajoutant un « `.` » à l'opérateur, ce qui donne `-.`, `+.`, `/.`, `*.`.

– Exemple –

```
# 1. +. 1.;;
- : float = 2.
```

Attention : on ne peut pas mélanger les `int` et les `float` de manière non explicite.

– Exemple –

```
# 2 +. 3.5;;
Error: This expression has type int but an
       expression was expected of type float
```

On peut **convertir** un `int` en `float` par la fonction `float_of_int` et un `float` en `int` par la fonction `int_of_float` (troncature).

– Exemples –

```
# float_of_int 32;;
- : float = 32.
```

```
# int_of_float 21.9;;
- : int = 21
```

Opérations sur les `float`

Les opérateurs relationnels sur les `float` sont les mêmes que ceux sur les `int`.

– Exemple –

```
# 32. <= 89.99;;
- : bool = true
```

Ici aussi, on ne peut pas mélanger les **`int`** et les **`float`** de manière non explicite.

– Exemple –

Il ne faut pas écrire

```
# 67.67 = 8;;
Error: This expression has type int but an
       expression was expected of type float
```

mais plutôt

```
# 67.67 = (float_of_int 8);;
- : bool = false
```

Il faut en effet demander explicitement la conversion d'un **`int`** en un **`float`** pour les utiliser au sein d'un opérateur (`=` ici).

Opérations sur les `float`

Il existe des opérateurs spécifiques aux `float`. Entre autres :

Opérateur	Arité	Rôle
`abs_float`	1	Valeur absolue
`floor`, `ceil`	1	Partie entière inf., sup.
`sqrt`	1	Racine carrée
`log`, `exp`	1	Logarithme népérien, exponentielle
`cos`, `sin`, `tan`	1	Fonctions trigonométriques
`**`	2	Exponentiation

Ces opérateurs produisent des valeurs de type `float`.

Hormis `**` qui est bien un opérateur du langage, les autres sont en réalité des fonctions prédéfinies.

Le type `char`

Le type `char` permet de représenter les caractères ASCII.

Une valeur de type `char` peut s'écrire

- par un **caractère** entre apostrophes ;
- par son **code** ASCII, sur trois chiffres précédés de `\`, le tout entre apostrophes.

– Exemples –

- `'a'`, `'8'`, `'?'`
- `'\101'`, `'\000'`, `'\035'`

La fonction `int_of_char` calcule le code ASCII d'un caractère.

– Exemple –

```
# int_of_char 'G';;
- : int = 71
```

La fonction `char_of_int` calcule le caractère de code ASCII spécifié.

– Exemples –

```
# char_of_int 40;;
- : char = '('
```

```
# char_of_int 2;;
- : char = '\002'
```

Le type `string`

Le type `string` permet de représenter des chaînes de caractères.

Une **chaîne de caractères** s'écrit par une suite de caractères entre guillemets.

– Exemples –

`"abc123"`, `"\100\101f"`

L'opérateur `^` permet de concaténer deux chaînes de caractères.

Plus précisément, si `u` et `v` sont des noms liés à des chaînes de caractères, `u ^ v` est une expression dont la valeur est la concaténation de `u` et de `v`.

Il n'y a pas d'effet secondaire : les chaînes `u` et `v` ne sont pas modifiées lors de leur concaténation.

– Exemples –

```
# "abc" ^ "def";;
- : string = "abcdef"
```

```
# let u = "ab"
  and v = "ba" in
      u ^ v ^ u ^ v;;
- : string = "abbaabba"
```

Le type `string`

Il existe des fonctions de conversion autour du type `string`. Parmi celles-ci, il y a

- `string_of_bool` et `bool_of_string` ;
- `string_of_int` et `int_of_string` ;
- `string_of_float` et `float_of_string`.

Les **opérateurs relationnels** sont bien définis sur les valeurs de type `string`. On peut ainsi totalement comparer des chaînes de caractères.

Les opérateurs de comparaison travaillent selon l'**ordre lexicographique**.

– Exemples –

```
# "abc" = "abde";;
- : bool = false
# "abc" <= "aaaa";;
- : bool = false
```

```
# let u = "ab" and v = "ab" in
      u = v;;
- : bool = true
# "abc" < "ad";;
- : bool = true
```

Le type `unit`

Le type `unit` est un type particulier qui **contient une unique valeur**, appelée « vide » et écrite

`()`

– Exemples –

```
# ();;
- : unit = ()
```

```
# let a = () in let b = a in
      b;;
- : unit = ()
```

Les opérateurs relationnels sont bien définis sur `unit`.

Dans la suite, nous verrons que ce type sert à rendre les fonctions homogènes au sens où toute fonction doit renvoyer une valeur.

En effet, une fonction qui n'est pas sensée renvoyer de valeur va renvoyer `()`.