UNIVERSITÉ Grenoble Alpes

INF201
Algorithmique et Programmation Fonctionnelle
Cours 1: Identificateurs, types de base et fonctions

Année 2018 - 2019

Identificateurs

La notion d'identificateur

Concept fondamental dans les langages de programmation =

Associer un **nom** (un identificateur)
aux
valeurs, **fonctions**, **types**, . . . d'un programme

Identificateurs

La notion d'identificateur

Concept fondamental dans les langages de programmation =

Associer un **nom** (un identificateur)
aux
valeurs, **fonctions**, **types**, . . . d'un programme

Quelques règles de définition des identificateurs en OCaml :

- longueur maximale : 256 caracères
- doivent débuter par une **lettre minuscule**
- pas d'espace
- sensible à la casse

Identificateurs

La notion d'identificateur

Concept fondamental dans les langages de programmation =

Associer un **nom** (un identificateur)
aux
valeurs, **fonctions**, **types**, . . . d'un programme

Quelques règles de définition des identificateurs en OCaml :

- longueur maximale : 256 caracères
- doivent débuter par une **lettre minuscule**
- pas d'espace
- sensible à la casse

Exemple : Identificateurs valides et non valides

- vitesse ✓
- Vitesse ✗
- vitesse moyenne ✗
- vitesse_moyenne ✓
- s ✓
- 3m ✗
- temporaire3 ✓

Identificateurs : définition globale

Syntaxe d'une *définition globale*

```
let identificateur = expression
```

↪ la valeur de `expression` est attachée/liée à `identificateur`

↪ le type de `identificateur` est le type de `expression`

Identificateurs : définition globale

Syntaxe d'une *définition globale*

```
let identificateur = expression
```

↪ la valeur de `expression` est attachée/liée à `identificateur`

↪ le type de `identificateur` est le type de `expression`

Cette définition est globale : elle peut être utilisée

- dans d'autres définitions
- dans le reste du programme

Identificateurs : définition globale

Syntaxe d'une *définition globale*

```
let identificateur = expression
```

↪ la valeur de `expression` est attachée/liée à `identificateur`

↪ le type de `identificateur` est le type de `expression`

Cette définition est globale : elle peut être utilisée

- dans d'autres définitions
- dans le reste du programme

Possibilités de **définitions simultanées** :

```
let ident1 = expr1 and ident2 = expr2 and ... identn = exprn
```

Identificateurs : définition globale

Syntaxe d'une *définition globale*

```
let identificateur = expression
```

↪ la valeur de `expression` est attachée/liée à `identificateur`

↪ le type de `identificateur` est le type de `expression`

Cette définition est globale : elle peut être utilisée

- dans d'autres définitions
- dans le reste du programme

Possibilités de **définitions simultanées** :

```
let ident1 = expr1 and ident2 = expr2 and ... identn = exprn
```

Exemple :

- `let x = 1`
- `let y = 2 + 12`
- `let i = 1`
- `let i = i+1`

DEMO: Définitions globales

Identificateurs : définition locale

Exemple : Comment calculer `e`=(2∗3∗4)∗(2∗3∗4)+(2∗3∗4)+2 ?

↪ `prod`= (2∗3∗4)

↪ `e`= `prod` ∗ `prod` + `prod` + 2

↪ `prod` est *locale* à `e`

Identificateurs : définition locale

Exemple : Comment calculer `e`=(2∗3∗4)∗(2∗3∗4)+(2∗3∗4)+2 ?

↪ `prod`= (2∗3∗4)

↪ `e`= `prod` ∗ `prod` + `prod` + 2

↪ `prod` est *locale* à `e`

Syntaxe d'une définition *locale* :

```
let identificateur = expression1 in expression2
```

↪ la valeur de `expression1` est attachée/liée **de manière permanente** à `identificateur` mais seulement lors de l'évaluation de `expression2`

Identificateurs : définition locale

Exemple : Comment calculer `e`=(2∗3∗4)∗(2∗3∗4)+(2∗3∗4)+2 ?

↪ `prod`= (2∗3∗4)

↪ `e`= `prod` ∗ `prod` + `prod` + 2

↪ `prod` est *locale* à `e`

Syntaxe d'une définition *locale* :

```
let identificateur = expression1 in expression2
```

↪ la valeur de `expression1` est attachée/liée **de manière permanente** à `identificateur` mais seulement lors de l'évaluation de `expression2`

Possibilité d'imbrications :

```
let id1=expr1 in
  let id2=expr2 in
...
    let idn = exprn ... in expr
```

Avec définitions simultanées :

```
let id1=expr1
  and id2=expr2
...
    and idn = exprn ... in expr
```

De l'importance des types . . .

Programmation = traitement de données

De l'importance des types . . .

Programmation = traitement de données

"traitement" ?

- faire des calculs
- mémoriser, rechercher, trier, associer . . .
- échanger avec l'extérieur (afficher, capter, . . .)
- etc.

Un facteur de **qualité**, de **correction** et d'**efficacité** d'un programme =
$\hookrightarrow$ choisir une "bonne" représentation pour ces données . . .

De l'importance des types . . .

Programmation = traitement de données

"traitement" ?

- faire des calculs
- mémoriser, rechercher, trier, associer . . .
- échanger avec l'extérieur (afficher, capter, . . .)
- etc.

Un facteur de **qualité**, de **correction** et d'**efficacité** d'un programme =
$\hookrightarrow$ choisir une "bonne" représentation pour ces données . . .

Dans les langages de programmation :

$\rightarrow$ notion de type (de données)

- types de base : fournis par le langage
- constructeurs de types : permettre au programmeur de définir ses propres types . . .

Types de base et expressions

`int`: les entiers

- Un sous-ensemble fini des entiers signés $\mathbb{Z}$, ex., $-10, 2, 0, 3, 9 \ldots$

Types de base et expressions

`int`: les entiers

- Un sous-ensemble fini des entiers signés $\mathbb{Z}$, ex., $-10, 2, 0, 3, 9 \ldots$

- **Opérations usuelles :**

`-i`	opposé
`i + j`	addition
`i-j`	soustraction
`i * j`	multiplication
`i / j`	division (entière)
`i mod j`	modulo

DEMO: integers

Types de base et expressions

`float`: les “nombres à virgule”

- Un sous-ensemble fini des réels $\mathbb{R}$
- Leur notation nécessite :
  - soit un “point” (représente la virgule)
  - soit un exposant (base 10), prefixé par *e* ou *E*

Remarque Pas de calculs exacts (limites de précision) □

Exemple :

0.2, 2`e7`, 1`E10`, 10.3`E2`, 33.23234`E`(-1.5), 2.

Types de base et expressions

`float`: les “nombres à virgule”

- Un sous-ensemble fini des réels $\mathbb{R}$
- Leur notation nécessite :
  - soit un “point” (représente la virgule)
  - soit un exposant (base 10), prefixé par *e* ou *E*

Remarque Pas de calculs exacts (limites de précision) □

Exemple :

0.2, 2`e7`, 1`E10`, 10.3`E2`, 33.23234`E`(−1.5), 2.

- **Opérateurs usuels :**

`-.x`	opposé
`x +. y`	addition
`x -. y`	soustraction
`x *. y`	multiplication
`x /. y`	division
`int_of_float x`	conversion réel vers entier
`float_of_int x`	conversion entier vers réel

DEMO: float

Types de base et expressions

`bool`: les booléens

- L'ensemble des valeurs $\mathbb{B} = \{\texttt{true}, \texttt{false}\}$
- Quelques opérateurs sur les booléens:

`not`	négation
&&	"et puis"
||	"ou alors"

- Quelques opérateurs à résultat booléen

`x = y`	x est *égal* à y
`x <> y`	x est non égal à y
`x < y`	x est plus petit que y
`x <= y`	x est plus petit ou égal à y
`x >= y`	x est plus grand ou égal à y
`x > y`	x est plus grand que y

DEMO: opérateurs à résultat booléens

Types de base et expressions

`char`: les caractères

- L'ensemble des caractères (du code ASCII)
  $char \subseteq \{'a', 'b', \ldots, 'z', 'A', \ldots, 'Z'\}$
- Contient aussi les éléments suivants :

`'\\'`	le caractère backslash
`'\'`	le caract'ere apostrophe
`'\t'`	le caractère tabulation
`'\r'`	le caractère retour-chariot
`'\n'`	le caractère fin-de-ligne
`'\b'`	le caractère backspace

Types de base et expressions

`char`: les caractères

- L'ensemble des caractères (du code ASCII)
$char \subseteq \{'a', 'b', \ldots, 'z', 'A', \ldots, 'Z'\}$
- Contient aussi les éléments suivants :

`'\\'`	le caractère backslash
`'\''`	le caract'ere apostrophe
`'\t'`	le caractère tabulation
`'\r'`	le caractère retour-chariot
`'\n'`	le caractère fin-de-ligne
`'\b'`	le caractère backspace

- Conversion entre entier et caractère (et réciproquement): un caractère peut être représenté par son code ASCII :
  - `Char.code`: renvoie le code ASCII d'un caractère
  - `Char.chr`: renvoie le caractère correspondant à un code ASCII
- Des minuscules aux majuscules et réciproquement :
  - `Char.lowercase_ascii`
  - `Char.uppercase_ascii`

DEMO: char

Compléments sur les opérateurs

Les opérateurs ont un type

Les opérateurs sont des fonctions (donc des valeurs), ils ont un type
$\rightarrow$ contraintes sur les arguments et le résulat

- ordre
- nombre

$\hookrightarrow$ la “signature” d’un opérateur

Compléments sur les opérateurs

Les opérateurs ont un type

Les opérateurs sont des fonctions (donc des valeurs), ils ont un type
$\rightarrow$ contraintes sur les arguments et le résulat

- ordre
- nombre

$\hookrightarrow$ la “signature” d’un opérateur

Etant donné un opérateur `op`:

`arg1`	$type_1$		
`arg2`	$type_2$		$\text{type}_1 \rightarrow \text{type}_2 \rightarrow \ldots \rightarrow \text{type}_n \rightarrow type_r$
...	...	$\Rightarrow$	$=$
`argn`	$type_n$		type de `op`
`result`	$type_r$		

Compléments sur les opérateurs

Les opérateurs ont un type

Les opérateurs sont des fonctions (donc des valeurs), ils ont un type
$\rightarrow$ contraintes sur les arguments et le résulat

- ordre
- nombre

$\hookrightarrow$ la "signature" d'un opérateur

Etant donné un opérateur `op`:

`arg1`	$type_1$
`arg2`	$type_2$
...	...
`argn`	$type_n$
`result`	$type_r$

$\Rightarrow$

$$type_1 \rightarrow type_2 \rightarrow \ldots \rightarrow type_n \rightarrow type_r$$

$=$

type de `op`

Exemple : Types de certains opérateurs

`+` : `int` $\rightarrow$ `int` $\rightarrow$ `int`

`=` : `int` $\rightarrow$ `int` $\rightarrow$ `bool`

`<` : `int` $\rightarrow$ `int` $\rightarrow$ `bool`

...

DEMO: type des opérateurs

Compléments sur les opérateurs

priorité et associativité

Rappel sur l'associativité:

- associativité à doite : `a op b op c` signifie `a op` (`b op c`)
- associativité à gauche : `a op b op c` signifie (`a op b`) `op c`

Priorité des opérateurs sur les types de base, par **ordre croissant**:

Opérateurs	**Associativité**
|| &&	gauche
+ − +. −.	gauche
* / *. /. mod	gauche

Une construction du langage

if . . . then . . . else . . .

Une **expression conditionnelle**

`if cond then expr1 else expr2`

- le résultat est une valeur
- `cond` doit être une expression booléenne
- `expr1` et `expr2` doivent être de même type

Example

```
let m = if a>b then a else b
```

Remarque La branche `else` est obligatoire . . . (en INF201) □

DEMO: if. . . then. . . else. . .

Compléments sur les type

A propos du système de type de OCaml

Le typage est un mécanisme/concept qui a pour but :

- d'éviter des erreurs
- de favoriser *l'abstraction*
- de vérifier que les expressions ont un sens, par ex.
  - 1 + `yes`
  - `true` $*$ 42

Compléments sur les type

A propos du système de type de OCaml

Le typage est un mécanisme/concept qui a pour but :

- d'éviter des erreurs
- de favoriser *l'abstraction*
- de vérifier que les expressions ont un sens, par ex.
  - 1 + `yes`
  - `true` $*$ 42

La vérification des types en OCaml : typage statique strict

- strict : pas de conversion implicite entre types
- statique : vérification avant exécution

Compléments sur les type

A propos du système de type de OCaml

Le typage est un mécanisme/concept qui a pour but :

- d'éviter des erreurs
- de favoriser *l'abstraction*
- de vérifier que les expressions ont un sens, par ex.
  - 1 + `yes`
  - `true` $*$ 42

La vérification des types en OCaml : typage statique strict

- strict : pas de conversion implicite entre types
- statique : vérification avant exécution

Inférence de type : pour toute expression *e*, OCaml calcule (automatiquement et systématiquement) le type de *e*

Compléments sur les type

A propos du système de type de OCaml

Le typage est un mécanisme/concept qui a pour but :

- d'éviter des erreurs
- de favoriser *l'abstraction*
- de vérifier que les expressions ont un sens, par ex.
  - $1 + \texttt{yes}$
  - $\texttt{true} * 42$

La vérification des types en OCaml : typage statique strict

- strict : pas de conversion implicite entre types
- statique : vérification avant exécution

Inférence de type : pour toute expression *e*, OCaml calcule (automatiquement et systématiquement) le type de *e*

Exemple : Typage des entiers et réels

- Deux ensembles disjoints d'opérateurs :
  - entiers $(+, -, *)$
  - réels $(+., -., *.)$
- Pas de conversion implicite entre eux, 1+ 0.42 produit une erreur

OCaml est un langage de programmation sûr :

- Jamais d'erreur mémoire à l'exécution
- Nombreuses erreurs detectées avant exécution

Remarque Comparaison avec C :

- C est *faiblement typé* : conversions de type implicites
- Erreurs possibles à l'exécution : segmentation-fault, bus-error, etc. . .

□

Fonctions

Introduction

Jusqu'ici : expressions basées sur des opérateurs prédéfinis . . .

Jusqu'ici : expressions basées sur des opérateurs prédéfinis . . .

Fonctions

args	*f*	$f(args)$

Intérêt :

- définir de nouvelles opérations
- pouvoir les ré-utiliser à plusieurs endroits d'un programme
- lisibilité du code

Fonctions
Introduction

Jusqu'ici : expressions basées sur des opérateurs prédéfinis . . .

Fonctions

args	*f*	$f(args)$

Intérêt :

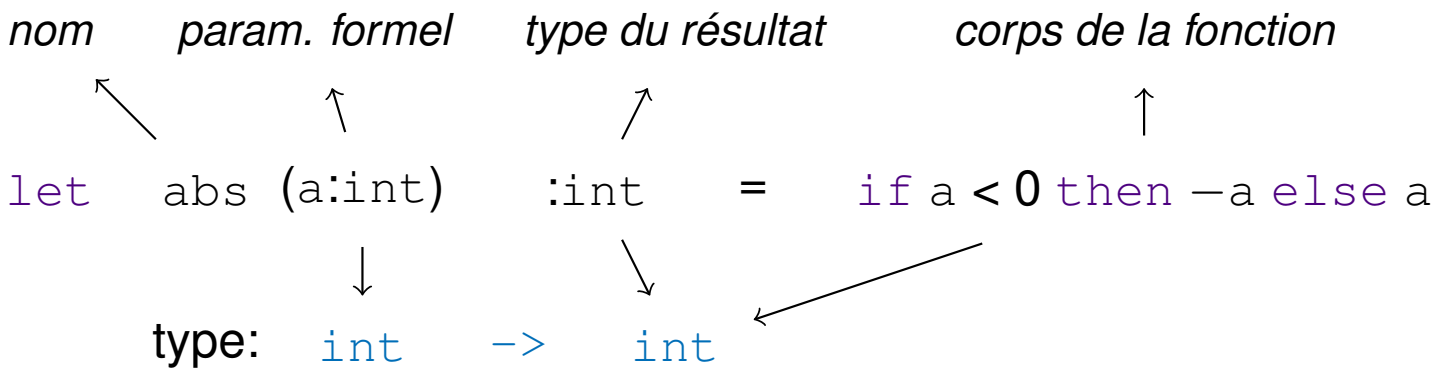
- définir de nouvelles opérations
- pouvoir les ré-utiliser à plusieurs endroits d'un programme
- lisibilité du code

Les fonctions dans les langages fonctionnels

- Proches des fonctions mathématiques
- Pas d'effets de bords (contrairement à C)
- Des expressions comme les autres, avec une *valeur* et un *type*

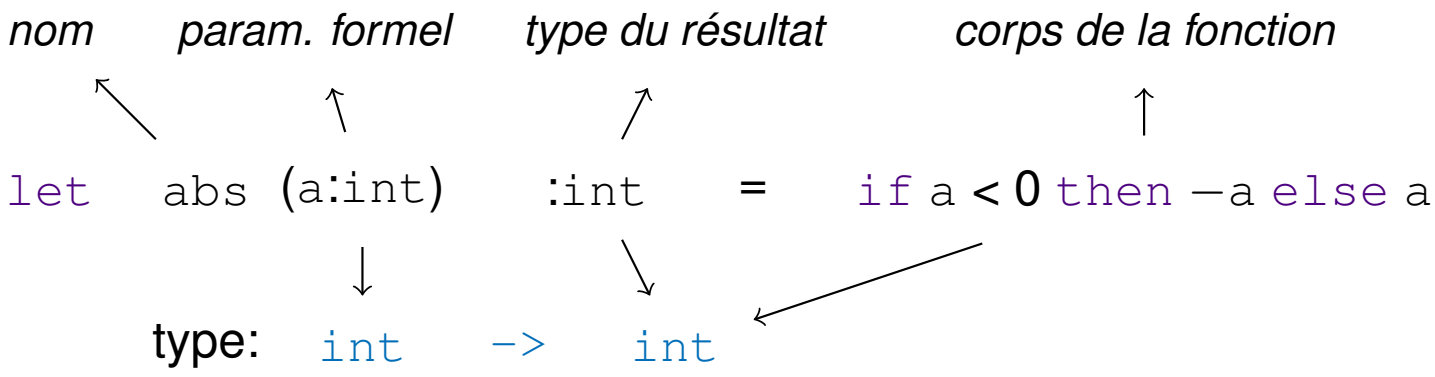
Définition des Fonctions

Exemple : la fonction valeur absolue



Définition des Fonctions

Exemple : la fonction valeur absolue



Autres écritures possibles :

```
let abs = fun (a:int) → if a < 0 then −a else a
```

ou

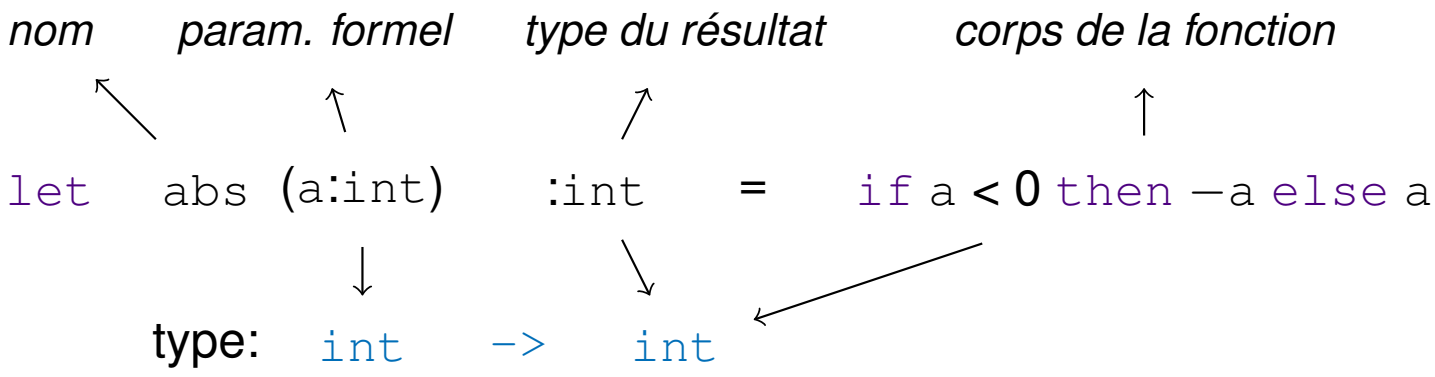
```
let abs a = if a < 0 then −a else a
```

ou

```
let abs (a:int) = if a < 0 then −a else a
```

Définition des Fonctions

Exemple : la fonction valeur absolue



Autres écritures possibles :

```
let abs = fun (a:int) → if a < 0 then −a else a
```

ou `let abs a = if a < 0 then −a else a`

ou `let abs (a:int) = if a < 0 then −a else a`

Exercice

Définir la fonction `carre: int → int`

Fonctions

Comment les utiliser

$f(x)$, le résultat de l'application de f à x sera noté en CAML `(f x)`

Exemple :

- `(abs 2)`
- `(abs(2 − 3))`
- `abs 2` (les parenthèse peuvent ici être omises . . .)

$f(x)$, le résultat de l'application de f à x sera noté en CAML `(f x)`

Exemple :

- `(abs 2)`
- `(abs(2 − 3))`
- `abs 2` (les parenthèse peuvent ici être omises . . .)

Application d'une fonction

`(expr1 expr2)`

Typage :

si et expr1 a pour type `t1->t2`, expr2 a pour type `t1` } *alors*(*expr*1 *expr*2) a pour type `t2`

Fonctions: Généralisation aux fonctions à plusieurs arguments

Exemple : Aire d'un rectangle

- Nécessite 2 paramètres : longueur et largeur (floats)
- définition: `let aire (x:float) (y:float) : float = x *. y`
- appel de la fonction : (`aire` 2.3 1.2)

Fonctions: Généralisation aux fonctions à plusieurs arguments

Exemple : Aire d'un rectangle

- Nécessite 2 paramètres : longueur et largeur (floats)
- définition: `let aire (x:float) (y:float) : float = x *. y`
- appel de la fonction : (`aire` 2.3 1.2)

Définition d'une fonction à *n* paramètres

`let nom_fonction (p1:t1) (p2:t2) ... (pn:tn) : t = expr`

- `p1`, ..., `pn` sont les *paramètres formels*
- Le type de `nom_fonction` est `t1 -> t2 -> ... -> tn -> t`

Fonctions: Généralisation aux fonctions à plusieurs arguments

Exemple : Aire d'un rectangle

- Nécessite 2 paramètres : longueur et largeur (floats)
- définition: `let aire (x:float) (y:float) : float = x *. y`
- appel de la fonction : (`aire` 2.3 1.2)

Définition d'une fonction à *n* paramètres

`let nom_fonction (p1:t1) (p2:t2) ... (pn:tn) : t = expr`

- `p1`, ..., `pn` sont les *paramètres formels*
- Le type de `nom_fonction` est `t1 -> t2 -> ... -> tn -> t`

Appeler une fonction à *n* paramètres

(`nom_fonction e1 e2 ... en`)

- `e1`,...,`en` sont les *paramètres effectifs*
- Le type de `nom_fonction e1 e2 ... en` est `t`
  si `ti` est le type de `ei` et `nom_fonction` est de type
  `t1 -> t2 -> ... -> tn -> t`

Fonctions anonymes

Cela nous servira plus tard . . .

$\rightarrow$ on définit une fonction, mais sans lui donner de nom . . .

Exemple : retour sur la valeur absolue

```
      fun a → if a < 0 then −a else a
ou    function a → if a < 0 then −a else a
ou    function (a:int) → if a < 0 then −a else a
```

Fonctions anonymes

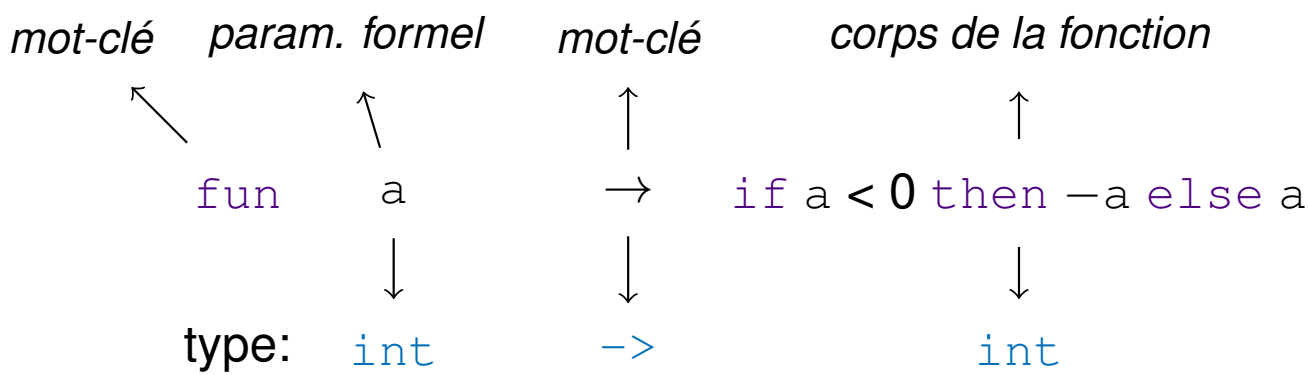
Cela nous servira plus tard . . .

→ on définit une fonction, mais sans lui donner de nom . . .

Exemple : retour sur la valeur absolue

```
      fun a → if a < 0 then −a else a
ou    function a → if a < 0 then −a else a
ou    function (a:int) → if a < 0 then −a else a
```

Analyse :



Fonctions: SPECIFICATION et IMPLEMENTATION

Il est très important de distinguer 2 concepts/étapes lors de la définition d'une fonctions (et d'un programme en général)

Fonctions: SPECIFICATION et IMPLEMENTATION

Il est très important de distinguer 2 concepts/étapes lors de la définition d'une fonctions (et d'un programme en général)

Spécification:

Une description de ce qui est attendu

- à un certain niveau d'abstraction
- doit être suffisamment précis
- proche d'une description "mathématique"
- peut utiliser des exemples *pertinents*

Un contrat

Consiste en:

- 1 description
- 1 signature
- des exemples

Fonctions: SPECIFICATION et IMPLEMENTATION

Il est très important de distinguer 2 concepts/étapes lors de la définition d'une fonctions (et d'un programme en général)

Spécification:

Une description de ce qui est attendu

- à un certain niveau d'abstraction
- doit être suffisamment précis
- proche d'une description "mathématique"
- peut utiliser des exemples *pertinents*

Implémentation:

La description de comment le réaliser

- le code OCaml

Un contrat

Consiste en:

- 1 description
- 1 signature
- des exemples

Fonctions: SPECIFICATION et IMPLEMENTATION

Il est très important de distinguer 2 concepts/étapes lors de la définition d'une fonctions (et d'un programme en général)

Spécification:

Une description de ce qui est attendu

- à un certain niveau d'abstraction
- doit être suffisamment précis
- proche d'une description "mathématique"
- peut utiliser des exemples *pertinents*

Un contrat

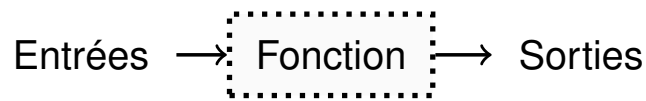
Consiste en:

- 1 description
- 1 signature
- des exemples

Implémentation:

La description de comment le réaliser

- le code OCaml



Définir une fonction : Spécification PUIS Implémentation

Fonctions: SPECIFICATION et IMPLEMENTATION

Il est très important de distinguer 2 concepts/étapes lors de la définition d'une fonctions (et d'un programme en général)

Spécification:

Une description de ce qui est attendu

- à un certain niveau d'abstraction
- doit être suffisamment précis
- proche d'une description "mathématique"
- peut utiliser des exemples *pertinents*

Un contrat

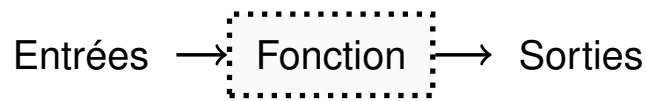
Consiste en:

- 1 description
- 1 signature
- des exemples

Implémentation:

La description de comment le réaliser

- le code OCaml



Définir une fonction : Spécification PUIS Implémentation

De nombreux avantages (pour le développement de gros programmes)

- ré-utilisation
- penser avant de coder
- on gagne du temps
- on obtient de meilleurs résultats

Définir des fonctions : quelques exemples

Exemple : Définir la fonction valeur absolue

- Spécification:
  - La fonction valeur absolue *abs* prend un entier n en paramètre et renvoie n si cet entier est positif et $-n$ si cet entier est négatif. La fonction valeur absolue renvoie toujours un entier positif.
  - Profil : $\mathbb{Z} \to \mathbb{N}$
  - Exemple : $abs(1) = 1$, $abs(0) = 0$, $abs(-2) = 2$
- Implémentation: `let abs (a:int) : int = if a < 0 then -a else a`

Définir des fonctions : quelques exemples

Exemple : Définir la fonction valeur absolue

- Spécification:
  - La fonction valeur absolue *abs* prend un entier n en paramètre et renvoie n si cet entier est positif et $-n$ si cet entier est négatif. La fonction valeur absolue renvoie toujours un entier positif.
  - Profil : $\mathbb{Z} \to \mathbb{N}$
  - Exemple : $abs(1) = 1$, $abs(0) = 0$, $abs(-2) = 2$
- Implémentation: `let abs (a:int) : int = if a < 0 then -a else a`

Exemple : Définir la fonction carre

- Spécification:
  - La fonction carre *sq* prend un entier n en paramètre et renvoie $n * n$.
  - Profil : $\mathbb{Z} \to \mathbb{N}$
  - Exemple : $sq(1) = 1$, $sq(0) = 0$, $sq(3) = 9$, $sq(-4) = 16$
- Implémentation: `let sq (n:int) : int = n*n`

Exercices

Un peu d'algorithmique

Exercice

Définir la fonction `my_max` qui renvoie le maximum de deux entiers

Exercices

Un peu d'algorithmique

Exercice

Définir la fonction `my_max` qui renvoie le maximum de deux entiers

Exercice

Définir les fonctions:

- `carre`: `int` $\rightarrow$ `int`
- `somme_carre`: `int` $\rightarrow$ `int` $\rightarrow$ `int`

tq. `somme_carre` calcule la somme des carrés de deux entiers

Exercices

Un peu d'algorithmique

Exercice

Définir la fonction `my_max` qui renvoie le maximum de deux entiers

Exercice

Définir les fonctions:

- `carre`: `int` → `int`
- `somme_carre`: `int` → `int` → `int`

tq. `somme_carre` calcule la somme des carrés de deux entiers

Problème : moyenne olympique

Calcule la moyenne de 4 valeurs, sans prendre en compte la plus petite ni la plus grande

1. Proposez un type pour la fonction `moy_olymp`
2. Proposez un algorithme, en supposant que l'on dispose de 2 fonctions `min4` et `max4`, qui calculent respectivement le minimum et le maximum de 4 entiers
3. Définissez les fonctions `min4` et `max4`, en utilisant `min` et `max`

Résumé et Travail à faire

Résumé

- Identificateurs
- Types de base et opérateurs

type	opérateurs	constantes
Booleans	`not, &&, ||`	`true, false`
integers	`+,-,*,/,mod`	`..., -1, 0, 1, ...`
floats	`+.,-.,*.,/.`	`0.4, 12.3, 16. , 64.`

- construction `if`...`then`...`else`
- Système de type OCaml
- Fonctions
  - définition et utilisation
  - spécification et réalisation d'une fonction

Travail à faire

Consulter la page web du cours
Revoir ces transparents !
Jouer avec l'interpréteur OCaml : `https://try.ocamlpro.com/`