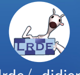
Approches Fonctionnelles de la Programmation

∼ Lisp / Haskell : Tutoriel des Différences ∽

Didier Verna

EPITA / LRDE

didier@lrde.epita.fr

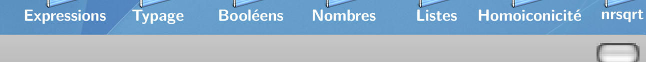


lrde/~didier

@didierverna

didier.verna

in/didierverna



Plan

Syntaxe et Expressions

Typage et Vérification

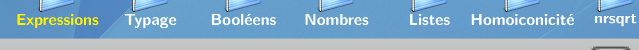
Logique Booléenne

Arithmétique

Listes

Corollaire : Homoiconicité (Lisp)

sqrt par Newton-Raphson



Plan

Syntaxe et Expressions

Typage et Vérification

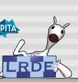
Logique Booléenne

Arithmétique

Listes

Corollaire : Homoiconicité (Lisp)

sqrt par Newton-Raphson



Syntaxe

- **Mise en forme**
  - **Haskell :** « offside-rule » [Landin, 1966]
    Séparateur implicite : ';', quelques mots réservés
  - **Lisp :** parenthèses (mais cf. reader-macros), aucun mot réservé
- **Nommage**
  - **Haskell :** indentique au C, plus apostrophe
    Première lettre capitalisée pour les types
  - **Lisp :** n'importe quoi
    Syntaxe spéciale pour les symboles ésothériques : |...|

Opérateurs et Fonctions

- **Lisp** : pas de distinction (sauf « opérateurs spéciaux »)
  - `(f arg1 arg2 ...)`
  - Notation exclusivement préfixe (mais cf. macros)
  - Opérateurs variadiques
  - Pas d'ambiguïté (précédence, associativité, *etc.*)
- **Haskell** : distinction (mais ponts entre les deux notations)
  - `f arg1 arg2 ...`
  - `3 + 4` ⇔ `(+) 3 4`
  - ``div 3 4`` ⇔ ``3 `div` 4``
  - Ambiguïtés (précédence, associativité, *etc.*)
    (`f n+1`, `f -12` *etc.*)
  - Définition d'opérateurs par notation préfixe
    `! # $ % & * + > / < = > ? \ ^ | : - ~`

Variadicité en Lisp

```lisp
(defun mklist (head &rest tail)
  (cons head tail))
;; (mklist 1) => (1)
;; (mklist 1 2) => (1 2)
;; (mklist 1 2 3) => (1 2 3)
;; etc.

(defun msg (str &optional (prefix "error: ") postfix)
  (concatenate 'string prefix str postfix))
;; (msg "hello") => "error: hello"
;; (msg "hello" nil) => "hello"
;; (msg "hello" "me: ") => "me: hello"
;; (msg "hello" "me: " "!") => "me: hello!"

(defun msg* (str &key prefix (postfix "."))
  (concatenate 'string prefix str postfix))
;; (msg* "hello") => "hello."
;; (msg* "hello" :prefix "me: ") => "me: hello."
;; (msg* "hello" :postfix "!" :prefix "me: ") => "me: hello!"
```

- Plus &-combinaisons
- Remarque : `'string` = `(quote string)` ⇒ `string` *(symbole)*

Nommage et Affectation

Haskell

```
foo, bar, boo :: Float
foo = 10
bar = sqrt (3 * (6 + 7) - 8)
boo = bar

baz :: Float -> Float -> Float
baz a b = sqrt (3 * (a + 7) - b)
```

Lisp

```
(defvar foo 10)
(setq foo 10)
(setq bar (sqrt (- (* 3 (+ 6 7)) 8)))
(setq boo bar)

(defun baz (a b)
  (sqrt (- (* 3 (+ a 7)) b)))
```

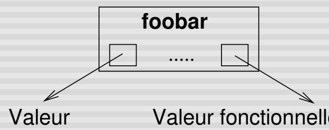
- **Haskell :** abstraction *syntaxique* (déclarations)
- **Lisp :** abstraction *fonctionnelle* (expressions)

Nommage, Affectation, et Pureté

- **Nommage** (fonctionnel pur) : *donner un nom à une valeur*
  Une valeur peut donc avoir différents noms
- **Affectation** (fonctionnel impur) : *donner une valeur à un nom*
  Un nom peut donc avoir différentes valeurs

« Lisp-2 »

- **Chaque symbole a *deux* valeurs**
  - une valeur quelconque
  - une valeur fonctionnelle
  - ces valeurs coexistent




```lisp
(defvar foobar 3)
(defun foobar (x) (* 2 x))
;; (foobar foobar) => 6
```

- **Accès**
  - `foobar` ⇒ *valeur*
  - `#'foobar` = `(function foobar)` ⇒ *valeur fonctionnelle*
- **Remarque**
  - `'(foobar foobar)` = `(quote (foobar foobar))`
    ⇒ `(foobar foobar)`

Développement Interactif

- **Boucle « read-eval-print »** (Repl)
  - **Read :** saisir une *expression*
  - **Eval :** calculer (« évaluer ») sa valeur
  - **Print :** présenter le résultat *sous forme affichable*
- **Remarques**
  - **Haskell :** Repl limitée (expressions *vs.* déclarations)
  - **Lisp :** interprétation / byte- [JIT] compilation au choix

Plan

Syntaxe et Expressions

Typage et Vérification

Logique Booléenne

Arithmétique

Listes

Corollaire : Homoiconicité (Lisp)

sqrt par Newton-Raphson

Typage et Vérification

- **Remarque :** question orthogonale au paradigme fonctionnel
- **Typage statique** (Haskell)
  - Typage des *variables* / *fonctions*
  - Vérification de type à la *compilation*
- **Typage dynamique** (Lisp)
  - Typage des *valeurs*
  - Vérification de type à l'*exécution*

Typage Statique (Haskell)

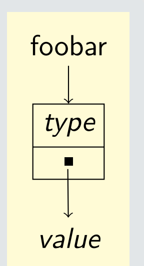
- Information de typage *inutile* à l'exécution
  Vérifications faites à la compilation
- Accès dynamique potentiel (introspection, REPL)
  P.ex. `:type` dans GHCi
- **Attention au vocabulaire**
  - *Vérification* de type *statique* : à la compilation
  - Typage *explicite* ou *implicite* : Inférence / Polymorphisme
  - Typage *fort* : toute erreur de type est détectée (à la compilation)

Typage Dynamique (Lisp)

- Information de typage *nécessaire* à l'exécution
  Vérifications faites à l'exécution
- Boxing : typage des *valeurs*
- Accès dynamique langagier (fonctionnel)

```
(type-of this)
(typep that 'integer)
```

- **Attention au vocabulaire**
  - *Vérification* de type *dynamique* : à l'éxécution
  - Typage *implicite* (au moins dans le code)
  - Typage (toujours) *fort* : toute erreur de type est (toujours) détectée (mais à l'exécution)



Typage Statique et Polymorphisme

Lisp

```
(defun len (l)
  (if (null l) 0 (1+ (len (cdr l)))))
```

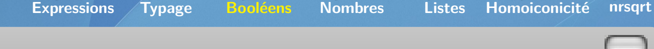
Haskell

```
len :: [a] -> Int
len [] = 0
len (x:xs) = 1 + len xs
```

- **Type de `length` en Haskell**
  - `[Int] -> Int` ? `[String] -> Int` ? ... ?
- **Polymorphisme paramétrique**
  - Variable de type : `length :: [a] -> Int`
  - Mais les listes restent homogènes
  - `:type` retourne le type le *plus général*
- **Polymorphisme *vs.* Surcharge**
  - Polymorphisme : définition *unique* $\forall$ type
  - Surcharge : définitions $\neq$ selon le type

Typage Statique *vs.* Dynamique

- **Dynamique**
  - Plus expressif (polymorphisme *de-facto*)
  - Impact sur les performances et la sûreté
- **Statique**
  - Plus contraignant (polymorphisme paramétrique)
  - Sûreté *de-facto*
- **Mélange statique / dynamique** (sujet brûlant !)
  - Bibliothèques (*p.ex.* Shen, typage statique *et* fort)
  - Types
    C# `dynamic` : court-circuite les vérifications statiques
    Haskell `Dynamic` + `toDyn` + `fromDynamic`
  - Annotations statiques Common Lisp (optimisation / typage faible)
  - Typage graduel [Siek, 2006]



Plan

Syntaxe et Expressions

Typage et Vérification

Logique Booléenne

Arithmétique

Listes

Corollaire : Homoiconicité (Lisp)

sqrt par Newton-Raphson

Booléens

- **Haskell**
  - Type `Bool`
  - Valeurs `True` et `False`
  - Opérateurs : `&&`, `||`, `not`
  - Fonctions : `and, or :: [Bool] -> Bool`
- **Lisp**
  - Pas de type spécifique
  - Vrai : `t` et tout sauf `nil`
  - Faux : `nil` et `()`
  - Opérateurs spéciaux (variadiques) : `and`, `or`
  - `not`

Branchements Conditionnels

- `if then else`

Haskell

```haskell
max3 :: Int -> Int -> Int -> Int
max3 m n p = if (m >= n) && (m >= p) then m
             else if (n >= m) && (n >= p)
                  then n else p
```

Lisp

```lisp
(defun max3 (m n p)
  (if (and (>= m n) (>= m p))
      m
    (if (and (>= n m) (>= n p))
        n
      p)))
```

- Guardes et `cond`

Haskell

```haskell
max3 :: Int -> Int -> Int -> Int
max3 m n p
    | (m >= n) && (m >= p) = m
    | (n >= m) && (n >= p) = n
    | otherwise = p
```

Lisp

```lisp
(defun max3 (m n p)
  (cond ((and (>= m n) (>= m p))
         m)
        ((and (>= n m) (>= n p))
         n)
        (t p)))
```

Conditionnels *vs.* Équations (Haskell)

```
ssq :: Int -> Int
ssq n = if (n == 1) then 1
        else n*n + ssq (n-1)
```

```
ssq :: Int -> Int
ssq n
    | (n == 1) = 1
    | otherwise = n*n + ssq (n-1)
```

- Mise en équations préférable

```
ssq :: Int -> Int
ssq 1 = 1
ssq n = n*n + ssq (n-1)
```

- Conditionnel & Pattern matching

```
lst :: [a] -> a
lst x = case (reverse x) of
  [] -> error "Empty list"
  (r:rs) -> r
```

Autres Conditionnels (Lisp)

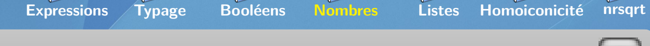
- **Sur des objets**

```
(defun month-length (month)
  (case month
    ((jan mar may jul aug oct dec) 31)
    ((apr jun sept nov) 30)
    (feb 28) ;; Y2K bug !!!
    (otherwise (error "Unknown month !"))))
```

- **Sur des types**

```
(defun +func (x)
  (typecase x
    (number #'+)
    (list #'append)))

(defun my+ (&rest args)
  (apply (+func (car args)) args))
```

- **Autres :** `when`, `unless`, *etc.*



Plan

Syntaxe et Expressions

Typage et Vérification

Logique Booléenne

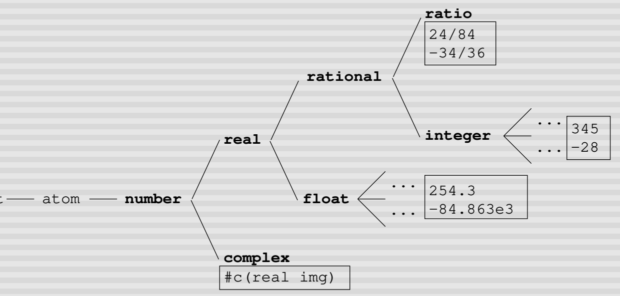
Arithmétique

Listes

Corollaire : Homoiconicité (Lisp)

sqrt par Newton-Raphson

Types Numériques (Lisp)



- **Prédicats :** `floatp`, `integerp`, *etc.*
- **Transtypage implicite :** ratios vers entiers, complexes vers réels
- **Transtypage opérationnel**
  - Automatique : vers flottants ou complexes
  - Explicite : `float`, `coerce`

Types Numériques (Haskell)

- Dénotation usuelle
- Hiérarchie similaire sous la classe `Num` (`Int`, `Float` *etc.*)
  (Inspirée de Scheme (inspirée de Common Lisp))

- **Surcharge des littéraux**

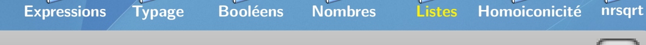
```
42 :: Num p => p
```

- **Opérateurs polymorphes**

```
(+) :: Num a => a -> a -> a
(==) :: Eq a => a -> a -> Bool
```

- **Pas de transtypage opérationnel automatique !**

```
fromIntegral :: (Integral a, Num b) => a -> b
```



Plan

Syntaxe et Expressions

Typage et Vérification

Logique Booléenne

Arithmétique

Listes

Corollaire : Homoiconicité (Lisp)

sqrt par Newton-Raphson

Listes

- Type natif dans tous les langages fonctionnels
- **Syntaxe**
  - Haskell : `[e1, e2, e3, ...]`
  - Lisp : `(e1 e2 e3 ...)`
- **Type**
  - Haskell : listes homogènes
    $\forall$ `t`, $\exists$ `[t]` (liste d'éléments de type `t`)
  - Lisp : listes hétérogènes, prédicat `listp`
- **Liste vide**
  - Haskell : `[]` (polymorphe, type `[a]` $\forall$ `a`)
  - Lisp : `()` $\Leftrightarrow$ `nil` (du latin *nihil*)

Construction

- **Forme canonique**
  - Tête (head) + reste / queue (tail)
  - Constructions successives au dessus de la liste vide
- **Haskell :** `(:) :: a -> [a] -> [a]`
- **Lisp :** `cons` (prédicat `consp`)
- **Remarque :** unicité de la « construction » $\neq$ « génération » (`++`, `append`, *etc.*)

Énumérateurs (Haskell)

```
-- Forme 1: [n .. m]
[2 .. 7]
[3.1 .. 7.0] -- [3.1,4.1,5.1,6.1,7.1]

-- Forme 2: [n,p .. m]
[7,6 .. 3]
[0.0,0.3 .. 1.0] -- [0.0,0.3,0.6,0.8999999999999999]
```

Exemples

```
()   (1)  (cons 1 nil)        (1 2)   (cons 1 (cons 2 nil))
[]   [1]  1:[]                [1, 2]  1:(2:[])

     [1|nil]                  [1| ]--->[2|nil]

(nil)  (cons nil nil)
[[]]   []:[]

[nil|nil]

((1) (2))   (cons (cons 1 nil) (cons (cons 2 nil) nil))
[[1], [2]]  (1:[]):((2:[]):[])

[ | ]------->[ |nil]
 |            |
 +->[b|nil]   +->[b|nil]

(1 (2) 3)  (cons 1 (cons (cons 2 nil) (cons 3 nil)))

[1| ]--->[ | ]--->[3|nil]
          |
          +->[2|nil]
```

- **Remarque :** pureté *vs.* notion(s) d'égalité

Remarques sur le Constructeur (Haskell)

- **Associativité :** droite
  `[3,4] = 3:[4] = 3:(4:[]) = 3:4:[]`
- **Précédence :** l'application lie toujours plus fort
  $\Rightarrow$ *toujours parenthéser !*

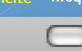
```
tail :: [a] -> [a]
tail [] = []
tail (x:xs) = xs
```

- **Attention :** variables locales au pattern matching

```
elt :: a -> [a] -> Bool
elt x []     = False
elt x (x:xs) = True       -- Barf !!
elt x (y:ys) = elt x ys
```

Accesseurs

- **Canoniques**
  - Lisp : `car` / `first`, `cdr` / `rest`
    Cf. IBM-704 : **C**ontents of **A**ddress / **D**ecrement **R**egister)
  - Haskell : `head`, `tail`
    Pattern matching : `(x:xs)`
- **Positionnels**
  - Lisp : `first ... tenth`, `(nth n lst)`
  - Haskell : `last`, `(!!) :: [a] -> Int -> a`
- **Structurels**
  - Lisp : `(nthcdr n lst)`, `last` ($\neq$ Haskell !)
  - Haskell : `drop :: Int -> [a] -> [a]`



Plan

Syntaxe et Expressions

Typage et Vérification

Logique Booléenne

Arithmétique

Listes

Corollaire : Homoiconicité (Lisp)

sqrt par Newton-Raphson

Corollaire : Homoiconicité (Lisp)

- **Syntaxe**
  - S-Expression : atome ou liste
  - Atome : littéral (`1.5`, `"foo"`, *etc.*) ou symbole
  - Symbole : `foobar`
  - Liste : `(a "foo" (bar +) 2.5)`, *etc.*
    En particulier : `(+ 1 2)`, `(defvar foo 1)`, *etc.*
- **Homoiconicité :** « même représentation »
- **Opérateur crucial :** `quote`

> *Lisp is the greatest single programming language ever designed.*
> *– Alan Kay [Kay, 2017]*

Puissance

- **Passage au méta-niveau**
  - Dites-moi votre nom `(prin1 your-name)`
  - Thierry Chmonfiss `=> "Thierry Chmonfiss"`

  - Dites-moi « votre nom » `(prin1 'your-name)`
  - Votre nom `=> your-name`
- **Méta-programmation** (rendue triviale)
  - Homoiconicité (code $\Longleftrightarrow$ données) + `quote`
  - `(+ 1 2)` *vs.* `'(+ 1 2)`
  - Réflexivité totale : introspection + intercession

Méandres

- **Propagation de la notion d'égalité :**

  – Trois égal deux plus un ?

  ```
  (= 3 (+ 2 1)) => T
  ```

  – « Trois » égal « deux plus un » ?

  ```
  (= '3 '(+ 2 1)) => nil
  ```

- **Inférence sur des prédicats :**

  « Les jazzmen sont d'excellents musiciens. »

  – John Scofield est un jazzman.

  $\Rightarrow$ John Scofield est un excellent musicien.

  – Thierry sait que John Scofield est un jazzman.

  $\Rightarrow$ Thierry sait-il que John Scofield est un excellent musicien ?

Plan

Syntaxe et Expressions

Typage et Vérification

Logique Booléenne

Arithmétique

Listes

Corollaire : Homoiconicité (Lisp)

`sqrt` par Newton-Raphson

La méthode de Newton-Raphson

$$\sqrt{x} = \lim_{n \to +\infty} y_n \quad | \quad y_n = \frac{y_{n-1} + \frac{x}{y_{n-1}}}{2}$$

- Itérer la suite y_n jusqu'à ce l'approximation soit satisfaisante

nrsqrt (Lisp)

Lisp

```
(defun nrsqrt (x delta)
  (nrfind x delta 1.0))

(defun nrfind (x delta yn)
  (if (nrfound x delta yn)
      yn
      (nrfind x delta (nrnext x yn))))

(defun nrfound (x delta yn)
  (<= (abs (- x (* yn yn))) delta))

(defun nrnext (x yn)
  (/ (+ yn (/ x yn)) 2))
```

nrsqrt (Haskell)

Haskell

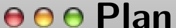
```haskell
nrsqrt :: Float -> Float -> Float
nrsqrt x delta = nrfind x delta 1.0

nrfind :: Float -> Float -> Float -> Float
nrfind x delta yn
  | nrfound x delta yn = yn
  | otherwise = nrfind x delta (nrnext x yn)

nrfound :: Float -> Float -> Float -> Bool
nrfound x delta yn = abs (x - yn * yn) <= delta

nrnext :: Float -> Float -> Float
nrnext x yn = (yn + x / yn) / 2
```

nrsqrt Impératif (Lisp)

```
(defun nrsqrt (x delta)
  (loop :for y = 1.0 :then (/ (+ y (/ x y)) 2.0)
        :until (<= (abs (- x (* y y))) delta)
        :finally (return y)))
```

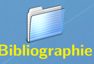
- **Rappel :** « quoi faire » *vs.* « comment faire »
- **Question :** un algorithme contient-il son propre paradigme d'expression ?

Les opinions varient...



Plan

Bibliographie



Bibliographie

- Peter J. Landin.
  The Next 700 Programming Languages.
  Communications of the ACM 9(3) : 157–166.
- Jeremy Siek and Walid Taha.
  Gradual Typing for Functional Languages.
  Scheme and Functional Programming Workshop.
- Alan Kay.
  What did Alan Kay mean by, "Lisp is the greatest single programming language ever designed" ?
  Quora.