Techniques et Fondements de la Programmation

Responsable et cours :	Robert Strandh
TD :	Irène Durand Laurent Péron

Planning : 13 semaines
(12 semaines de cours, 12 semaines de TD)

2h de cours + 2h de TD par semaine
4h de travail individuel par semaine

Web : http://dept-info.labri.fr/~strandh/Teaching/TFP/2001-2002/Dir.html

Support de cours

Robert Strandh et Irène Durand :
Traité de programmation en Common Lisp

Transparents

Bibliographie

Paul Graham : ANSI Common Lisp
Prentice Hall

Paul Graham : On Lisp
Advanced Techniques for Common Lisp
Prentice Hall

Sonya Keene : Object-Oriented Programming in Common Lisp
A programmer's guide to CLOS
Addison Wesley

David Touretzky : Common Lisp:
A Gentle introduction to
Symbolic Computation.

Autres documents

Guy Steele :	Common Lisp, the Language, second edition Digital Press (disponible sur WWW en HTML)
David Lamkins :	Successful Lisp (Tutorial en-ligne)

CMUCL user's guide

CLX reference manual

The HyperSpec (la norme ANSI complète de Common Lisp, en HTML)

Objectifs et contenu

Objectif : Maîtriser un certain nombre de méthodes et techniques de programmation symbolique, impérative et fonctionnelle.

Contenu : Langage Common Lisp
Types : symbole, liste, ...
Fonctions de base
Techniques élémentaires de programmation
Macros
Exceptions
Programmation par objets avec CLOS

But de l'enseignement de programmation

Méthodes et techniques pour l'écriture d'applications maintenables, réutilisables, lisibles, modulaires, générales, élégantes.

Langages, mécanismes et outils adaptés à ces méthodes et techniques

Aspects de la programmation non enseignés :

- Efficacité extrême
- Temps réel
- Applications particulières (jeux, image, numériques, ...)
- Détails de langages particuliers
- Implémentations particulières

Comment faire pour apprendre à programmer?

Il faut surtout lire beaucoup de code écrit par des experts.

Il faut lire la littérature sur la programmation. Il n'y en a pas beaucoup (peut-être 10 livres).

Il faut programmer.

Il faut maintenir du code écrit par d'autres personnes.

Il faut apprendre à être bien organisé.

Pourquoi le langage Common Lisp?

- Langage très riche
- Syntaxe simple et uniforme
- Sémantique simple et uniforme
- Langage programmable (macros, reader macros)
- Représentation de programmes sous la forme de données
- Normalisé par ANSI, y compris CLOS
- Programmation par objets plus puissante qu'avec d'autres langages

Définition : langage interprété
(deux définitions possibles)

1. Un langage pouvant être implémenté par un interprète
2. Un langage forcement implémenté par un interprète

Si 1, alors tous les langages sont interprétés. Si 2, alors aucun langage n' est interprété.

Alors, "langage interprété" n'a pas de sens.

Historique de Common Lisp

Langage inventé à MIT par John McCarthy en 1959 (donc avec Fortran l'un des plus vieux langages toujours utilisés)

Dans les années 1970, deux dialectes : Interlisp et Maclisp

Aussi : Standard Lisp, NIL, Lisp Machine Lisp, Le Lisp

Travail pour uniformiser les dialectes : Common Lisp

Normalisé par ANSI en 1987

Processus de standardisation de Common Lisp

1. Introduction d'un concept nouveau
2. Distribution sous la forme de fonctions+macros
3. Utilisation par les programmeurs pendant plusieurs années
4. Proposition de normalisation du concept
5. Intégration du concept dans la norme

Tour guidé de Common Lisp

- Langage dynamique
- Sémantique par référence uniforme
- Gestion automatique de la mémoire
- Mots clés (passage de paramètres)
- Compilation
- Macros
- Programmation orientée objets

Tour guidé de Common Lisp

Types de données

- entiers à précision arbitraire
- rationnels, flottants
- complexes rationnels et complexes flottants
- la plupart des opérations arithmétiques marchent sur les complexes
- symboles
- caractères, chaînes de caractères
- séquences, listes, tableaux
- tableaux de bits, tableaux d'hachage
- fonctions
- structures, classes, métaclasses
- séries, générateurs/consommateurs
- flots

Tour guidé de Common Lisp (suite)

Structures de contrôle

- conditionnels (*if*, *when*, *unless*, *cond*, *case*)
- récursivité
- itération (*while*, *do*, *dolist*, *loop*)
- blocs (*prog1*, *progn*, *tagbody*, *let*, *let**)
- fermetures
- fonctions génériques
- valeurs multiples
- exceptions

Standards de codage

Il faut s'habituer aux standards de codage

Pour Common Lisp, suivre les exemples dans la littérature

En particulier pour l'indentation de programmes qui est très standardisée.

Il faut pouvoir comprendre le programme sans regarder les ()

Utiliser lisp-mode de GNU Emacs

L'indentation n'est donc pas une question de goût personnel

Programmation fonctionnelle

Common Lisp est un langage mixte (fonctionnel, impératif, orienté objets)

Pour un bon résultat, utiliser la programmation fonctionnelle le plus possible

Par programmation fonctionnelle, il faut comprendre la programmation sans effets de bord

Les programmes sont plus faciles à tester

Programmation ascendante (bottom-up)

Paramètres sont souvent des fonctions (fermetures)

Sémantique par référence uniforme

Manipulation d'objets par des références (pointeurs)

Le compilateur peut remplacer une référence par l'objet correspondant si cela ne change pas la sémantique

Implémentation d'objets typés par le marquage (tags)

Les petits objets (fixnums, caractères, ...) sont représentés directement dans le pointeur.

La sémantique par référence uniforme fait que les pointeurs explicites ne sont pas nécessaires ("pas de pointeurs")

Les déclarations peuvent aider le compilateur à remplacer les références par les objets correspondants

Common Lisp est interactif

Common Lisp est presque toujours implémenté sous la forme de système interactif avec une boucle d'interaction (read-eval-print loop ou REPL).

Une interaction calcule la valeur d'une expression, mais une expression peut aussi avoir des effets de bord.

En particulier un effet de bord peut être de modifier la valeur d'une variable ou de créer une fonction.

Le langage n'a pas la notion de programme principal. Il est néanmoins possible de préciser la fonction à exécuter quand l'application est lancée.

Normalement, on exécute la commande Lisp une seule fois par séance.

Common Lisp est interactif (suite)

En EMI, une séance est un TD ou une demie journée de travail. Sur un ordinateur personnel, une séance peut durer des mois.

Le langage est conçu pour le développement interactif. Les instances d'une classes sont mises à jour quand la définition d'une classe change, par exemple.

Il faut écrire les applications pour faciliter l'interactivité aussi. Souvent cela nécessite la programmation sans effets de bord.

Expressions

Une expression (ou une forme) Common Lisp peut être :

- un objet auto-évaluant,
- un symbole, ou
- une expression composée.

Expressions, analyse syntaxique

Une expression tapée à la boucle d'interaction est d'abord analysée syntaxiquement. Le résultat de cette analyse est une représentation interne de l'expression. La fonction responsable de cette analyse s'appelle *read*.
Cette fonction est disponible à l'utilisateur.

Expressions, évaluation

La représentation interne de l'expression est ensuite évaluée, c'est à dire que sa valeur est calculée. Cette évaluation peut donner des effets de bord. Le résultat de l'évaluation est un ou plusieurs objets Lisp. La fonction responsable de l'évaluation d'expression s'appelle *eval*.
Cette fonction est disponible à l'utilisateur.

Expressions, affichage

Les objets résultant de l'évaluation sont ensuite affichés (ou imprimés) en représentation externe. La fonction responsable de l'affichage s'appelle *print*.
Cette fonction est disponible à l'utilisateur.

Lancer et quitter le système Lisp

```
napperon: lisp
CMU Common Lisp release x86-linux...
...
* 1234

1234
*
```

Lancer et quitter le système Lisp

```
* hello

Error in ...:  the variable HELLO is unbound.

Restarts:
  0: [ABORT] Return to Top-Level.

Debug  (type H for help)
...
0] 0
* (quit)
napperon:
```

Objets auto-évaluants

Un objet auto-évaluant est la même chose qu'une constante. Typiquement, il s'agit de nombres, de caractères ou de chaînes de caractères.

```
* 1234

1234
* 6/8

3/4
* #\c

#\c
*
```

Objets auto-évaluants

```
* "bonjour"

"bonjour"
* #(1 2 3 4)

#(1 2 3 4)
*
```

Symboles

Si l'expression est un symbole, il sera considéré comme le nom d'une variable. la fonction eval va donc renvoyer sa valeur.

```
* *standard-output*

#<Synonym Stream to SYSTEM:*STDOUT*>
* nil

NIL
* t

T
*
```

Symboles

* *features*

```
(:MK-DEFSYSTEM :CLX-MIT-R5 ...)
```

* +

```
*FEATURES*
```

*

Expressions composées

Une expression composée est une liste de sous-expressions entourées de parenthèses. Souvent, la première sous-expression est un symbole qui est le nom d'une fonction, d'une macro ou d'un opérateur spécial. Les autres sous-expressions sont les arguments de la fonction, de la macro ou de l'opérateur spécial.

Expressions composées

```
* (+ 3 4)

7
* (length "hello")

5
* (+ (* 3 4 2) (- 5 4) (/ 5 3))

80/3
*
```

Expressions composées

```
* (if (> 5 4) "oui" "non")

"oui"
* (length *features*)

37
*
```

Ici, *if* est un opérateur spécial, alors que $+$, $*$, -, $/$, $>$, *length* sont des fonctions.

Expressions avec effets de bord

Certains expressions peuvent avoir des effets de bord. Il s'agit par exemple de l'affectation d'une variable ou de l'affichage (autre que par la boucle REPL)

```
* (setf x 3)
Warning:  Declaring X special.

3
* x

3
* (+ (print 3) 4)

3
7
*
```

Expressions avec effets de bord

Ici, *setf* est le nom d'une macro et *(setf x 3)* est une expression macro (anglais : macro form); *print* est le nom d'une fonction avec un effet de bord et *(print 3)* est une expression fonction (anglais : function form).

Définition de fonction

L'utilisateur peut définier des fonctions en utilisant la macro *defun* :

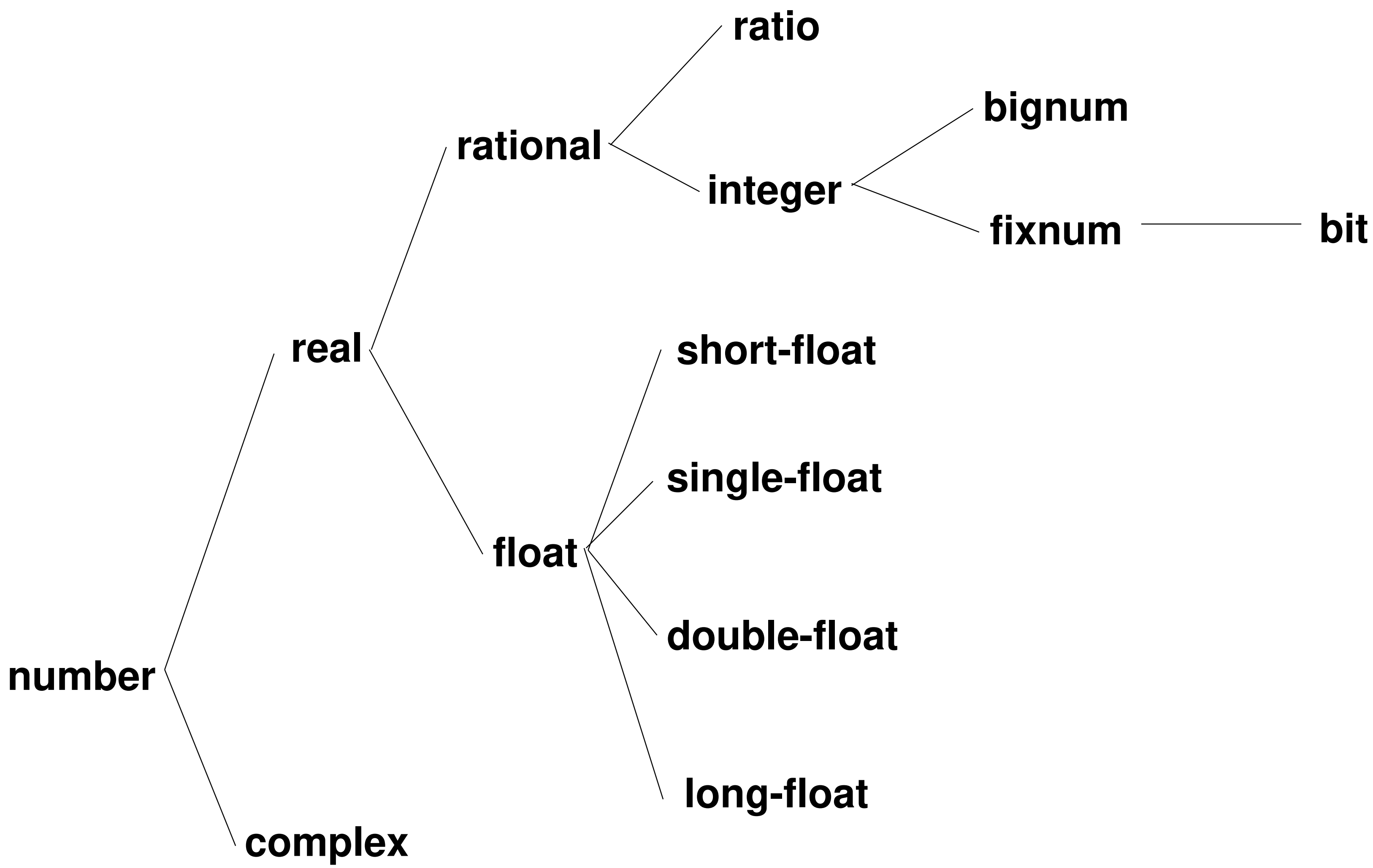
```
* (defun double (x)
    (* 2 x))

DOUBLE
* (double 10)

20
* (double 3/2)

3
* (double 1.5)

3.0
*
```

Définition de fonction

```
* (defun my-gcd (x y)
    (if (= x y)
        x
        (if (> x y)
            (my-gcd y x)
            (my-gcd x (- y x)))))

MY-GCD
*
```

Cette indentation est obligatoire, car les programmeurs Lisp ne regardent pas les parenthèses. De plus, elle doit être automatique.

Nombres


ratio
bignum
rational
integer
fixnum
bit
real
short-float
single-float
float
double-float
number
long-float
complex

Nombres: Entiers

Précision arbitraire (bignums)

```
* (defun fact (n)
    (if (= n 0)
        1
        (* n (fact (1- n)))))

FACT
* (fact 5)

120
* (fact 40)

815915283247897734345611269596115894272000000000
*
```

Nombres: Entiers

Opérations logiques sur les entiers: vecteurs infinis de bits ayant soit un nombre fini de "1", soit un nombre fini de "0".

logior, *logxor*, *logand*, *logeqv*, *lognand*, *lognor*, *logandc1* *logandc2*, *logorc1*, *logorc2*, *boole*, *lognot*, *logtest*, *logbitp* *ash*, *logcount*

```
* (logior 14 3)

15
* (ash 20000000000000000000 2)

80000000000000000000
*
```

Nombres: Entiers

Les fixnums sont possible à représenter dans le pointeur

La manipulation de "bytes" d'un nombre de bits arbitraire

Avec les declarations, possible de représenter de façon compacte (par exemple dans les tableaux)

En particulier des tableaux de bits

```
* (fixnump (ash 1 28))

T
* (fixnump (ash 1 29))

NIL
* (make-array '(3 5) :element-type 'bit)

#2A((0 0 0 0 0) (0 0 0 0 0) (0 0 0 0 0))
*
```

Nombres: ratio

Permets de représenter le résultat d'une grande classe de calculs de façon exacte. Exemples:

- La programmation linéaire avec la méthode simplex
- Élasticité de widgets

Constantes : *1/3*, *2/10*, ...

```
* (+ 1/3 4/5)

17/15
* (/ 4/3 2/3)

2
*
```

Nombres: complexes

Constantes : *#c(4 5)*, *#c(1/2 3/4)*, *#c(4/6 2.0)*

Les opérations habituelles marchent *exp*, *expt*, *log*, *sqrt*, *isqrt*, *abs*, *phase*, *signum*, *sin*, *cos* *tan*, *cis*, *asin*, *acos*, *atan*, *sinh*, *cosh*, *tanh*, *asinh*, *acosh*, *atanh*

```
* (sin (/ pi 6))

0.49999999999999994d0
* (sin #c(3 4))

#C(3.8537378 -27.016813)
*
```

Exemples d'utilité : transformée de Fourier

Booléens

Constantes : *nil*, *t*

nil = ()

n'importe quel objet sauf *nil* est considéré équivalent à *t* pour les tests

nil et *t* sont des symboles

la valeur de la variable *nil* est le symbole *nil* la valeur de la variable *t* est le symbole *t*

```
* (if nil 2 3)

3
*
```

Booléens

```
* (if 0 2 3)

2
* (< 2 4 7 123)

T
*
```

Symboles

Constantes : *abc*, *234hello*, |*ceci n'est pas une pipe*|

Sauf avec la syntaxe |...|, le nom est en majuscules

```
* (defvar abc 22)

ABC
* (defvar 234abc 11)

234ABC
* (defvar |ceci n'est pas une pipe| 8)

|ceci n'est pas une pipe|
* (+ |ceci n'est pas une pipe| 3)

11
*
```

Quote

Comment est-ce que la valeur d'un symbole peut-être un autre symbole? (la valeur de *nil* est *nil*, et la valeur de *t* est *t*)

La solution est un opérateur spécial appelé *quote*

Quote

```
* (defvar *a* (quote hello))

*A*
* *a*

HELLO
* (defvar hello (quote |ceci n'est pas une pipe|))

HELLO
* hello

|ceci n'est pas une pipe|
*
```

Au lieu de taper (`quote` *machin*) on peut taper '*machin*.

Symboles

Tester l'égalité entre deux symboles est une opération très rapide.

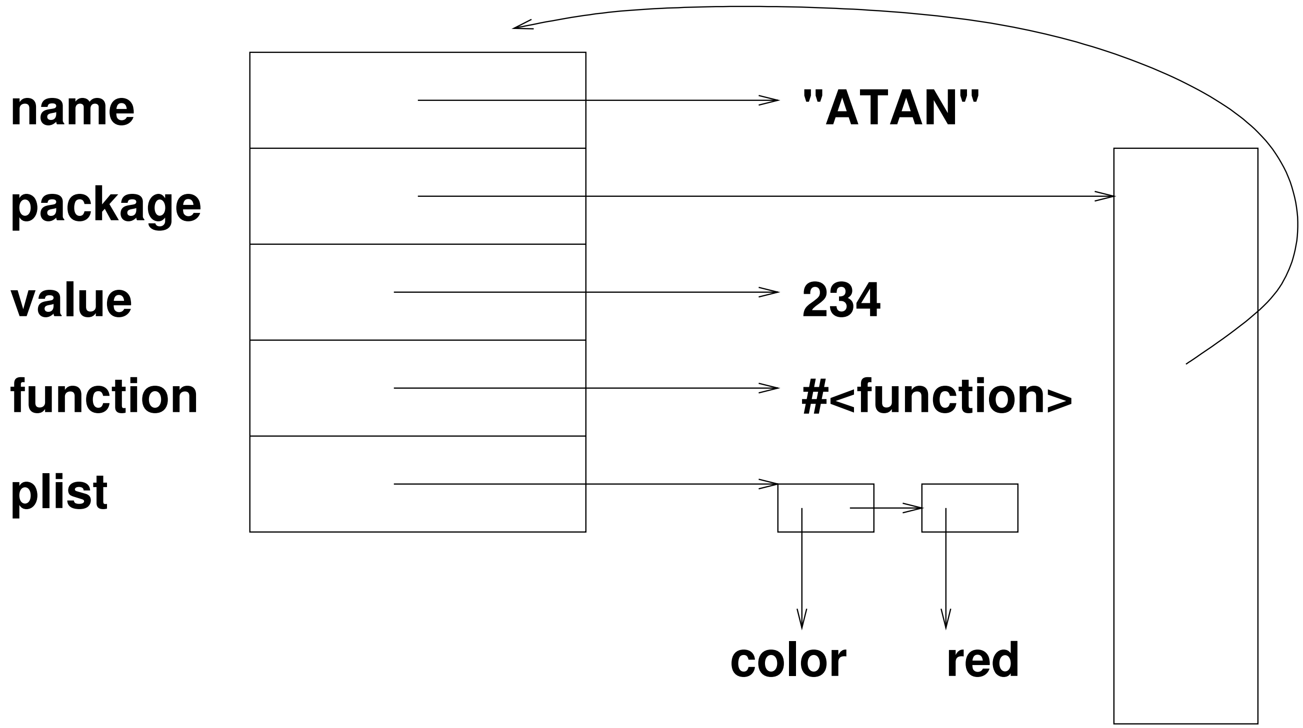
Tableau d'hachage dans le paquetage (package) courant.

C'est la fonction *read* qui cherche le tableau d'hachage et crée le symbole.

```
* (defvar *c* '|ceci n'est pas une pipe|)

*C*
* (eq *c* '|ceci n'est pas une pipe|)

T
* (eq *c* 'hello)

NIL
*
```

Symboles

Représentation:



Symboles: property list (plist)

Une base de données simple Exemple:

```
* (setf (get 'jean 'pere) 'paul)

PAUL
* (setf (get 'paul 'profession) 'plombier)

PLOMBIER
* (get (get 'jean 'pere) 'profession)

PLOMBIER
*
```

Caractères

Constantes : $\#\backslash a$, $\#\backslash b$, $\#\backslash Space$, $\#\backslash Newline$, ...

Fonctions :

alpha-char-p, *upper-case-p*, *lower-case-p*, *both-case-p*, *digit-char-p*, *alphanumericp*, *char=*, *char/=*, *char<*, *char>*, *char<=*, *char>=*, ...

Chaînes de caractères

Constantes: *"abc"*, *"ab\"c"*, ...

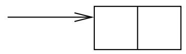
Une chaîne de caractères est un vecteur, et un vecteur est un tableaux mais aussi une séquence.

```
* (aref "abc def" 3)

#\Space
* (lower-case-p (aref "abc def" 4))

T
* (char< (aref "abc def" 1) #\a)

NIL
*
```

Listes

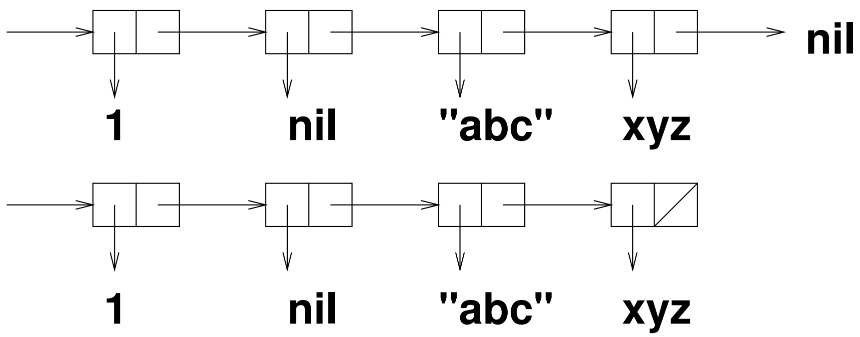
Une list est une séquence

Le type de base est la paire ou le *cons*



Listes

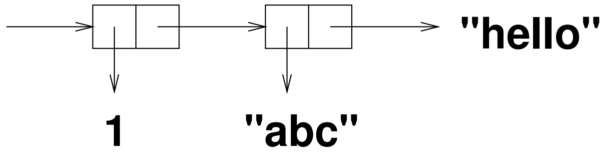
Une liste (anglais: proper list) est une suite de paires terminée par *nil*.



Affichage par *print* : `(1 NIL "abc" XYZ)`

Listes

Une liste généralisée (anglais: dotted list) est terminée par un objet autre que *nil*.



Affichage par *print* : `(1 "abc" . "hello")`

Listes (suite)

Une liste tapée à la boucle REPL est considérée comme une expression composée, et sera donc évaluée. Pour obtenir une liste sans l'évaluer, utiliser *quote*.

Listes (suite)

```
* (+ 3 4)

7
* '(+ 3 4)

(+ 3 4)
* (defvar *my-list* '(+ 3 4))

*MY-LIST*
* *my-list*

(+ 3 4)
*
```

Listes (suite)

Operations de base: *cons*, *car*, *cdr*

```
* (cons 1 (cons 2 (cons 3 nil)))

(1 2 3)
* (cons 'hello '(how are you))

(HELLO HOW ARE YOU)
*
```

Listes (suite)

```
* (setf *my-list* '(how are you))

(HOW ARE YOU)
* (cons 'hello *my-list*)

(HELLO HOW ARE YOU)
* *my-list*

(HOW ARE YOU)
* (car *my-list*)

HOW
* (cdr *my-list*)

(ARE YOU)
*
```

Listes (suite)

Opérations plus complexes : *list*, *append*, *reverse*, ...

```
* (setf *a* 'hello)

HELLO
* (setf *my-list* '(*a* 3 *standard-output*))

(*A* 3 *STANDARD-OUTPUT*)
* (setf *my-list* (list *a* 3 *standard-output*))

(HELLO 3 #<Synonym Stream to SYSTEM:*STDOUT*>)
* (append *my-list* '(a b c))

(HELLO 3 #<Synonym Stream to SYSTEM:*STDOUT*> A B C)
* *my-list*
```

Listes (suite)

```
(HELLO 3 #<Synonym Stream to SYSTEM:*STDOUT*>)
* (reverse *my-list*)

(#<Synonym Stream to SYSTEM:*STDOUT*> 3 HELLO)
* *my-list*

(HELLO 3 #<Synonym Stream to SYSTEM:*STDOUT*>)
*
```

Listes (suite)

Structure de contrôle de base: la récursivité

Utiliser *endp* pour terminer la récursion

```
* (defun greater-than (l x)
    (if (endp l)
        '()
        (if (> (car l) x)
            (cons (car l) (greater-than (cdr l) x))
            (greater-than (cdr l) x))))

GREATER-THAN
* (greater-than '(5 3 6 4 5 3 7) 4)

(5 6 5 7)
*
```

Listes (suite)

Mais on n'a presque jamais besoin de récursion sur les listes.

```
* (remove-if-not (lambda (x) (> x 4)) '(5 3 6 4 5 3 7))

(5 6 5 7)
*
```

Listes (suite)

Attention:

```
* (car nil)

NIL
* (cdr nil)

NIL
*
```

Atomes et listes

```
(defun my-atom (x)
  (not (consp x)))

(defun my-listp (x)
  (or (null x) (consp x)))
```

Égalité

```
* (defparameter *x* (list 'a))

*X*
* (eq *x* *x*)

T
* (eql *x* *x*)

T
* (equal *x* *x*)

T
*
```

Égalité

```
* (eq *x* (list 'a))

NIL
* (eql *x* (list 'a))

NIL
* (equal *x* (list 'a))

T
*
```

Listes (suite)

Construction: *list**, *append*, *copy-list*, *copy-alist*, *copy-tree*, *revappend*, *nconc*, *nreconc*, *push*, *pushnew*, *pop*, *butlast*, *nbutlast*, *ldiff*, *rplaca*, *rplacd*, *subst*, *subst-if*, *subst-if-not*, *nsubst*, *nsubst-if*, *nsubst-if-not*, *sublis*, *member*, *tailp*, *adjoin*,*union*, *intersection*, *set-difference*, *nset-difference*, *set-exclusive-or*, *nset-exclusive-or*, *subsetp*, *acons*, *pairlis*, *assoc*, *assoc-if*, *assoc-if-not*, *find*, *rassoc*, *rassoc-if*, *rassoc-if-not*

Listes (suite)

Accès: *cons*, *list car*, *cdr*, *nth*, *nthcdr*, *last*, *elt*, *cadadr*, *cdaaar*, ... *first*, *second*, ..., *tenth*

Autres: *length*, *subseq*, *copy-seq*, *fill*, *replace*, *count*, *reverse*, *nreverse*, *concatenate*, *position*, *find*, *sort*, *merge*, *map*, *some*, *every*, *notany*, *notevery*, *reduce*, *search*, *remove*, *remove-dupicates*, *delete*, *delete-duplicates*, *substitute*, *nsubstitute*, *mismatch*

Tableaux

```
* (make-array '(4 3))

#2A((0 0 0) (0 0 0) (0 0 0) (0 0 0))
* (make-array '(4 3) :initial-element 5)

#2A((5 5 5) (5 5 5) (5 5 5) (5 5 5))
* (make-array 4 :initial-contents (list (+ 3 4) "hello" 'hi t))

#(7 "hello" HI T)
*
```

Tableaux

```
* (setf *x* (make-array 6 :fill-pointer 4))

#(0 0 0 0)
* (length *x*)

4
* (setf (fill-pointer *x*) 6)

6
* (length *x*)

6
* (adjust-array *x* '(30) :fill-pointer 20)

#(0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0)
*
```

Structures

```
* (defstruct person name address phone-number)

PERSON
* (make-person)

#S(PERSON :NAME NIL :ADDRESS NIL :PHONE-NUMBER NIL)
* (make-person :name "Bobby Beach")

#S(PERSON :NAME "Bobby Beach" :ADDRESS NIL :PHONE-NUMBER NIL)
* (defstruct person (name "unknown") address (phone-number 0))

PERSON
* (make-person :name "Bobby Beach")

#S(PERSON :NAME "Bobby Beach" :ADDRESS NIL :PHONE-NUMBER 0)
*
```

Tables d'hachage

```
* (setf *x* (make-hash-table))

#<EQL hash table, 0 entries 480AA9B5>
* (gethash 'weight *x*)

NIL
NIL
* (setf (gethash 'weight *x*) 234)

234
* (gethash 'weight *x*)

234
T
*
```

Tables d'hachage

```
* (setf (gethash 11 *x*) nil)

NIL
* (gethash 11 *x*)

NIL
T
*
```

Fonctions de première classe

Un objet est de première classe s'il peut être : la valeur d'une variable, l'argument à un appel de fonction, et renvoyé par une fonction.

```
* #'1+

#<Function 1+ 103744B9>
* (mapcar #'1+ '(4 3 4 8))

(5 4 5 9)
* (reduce #'max '(4 3 5 8))

8
* (funcall (complement #'<) 3 5)

NIL
*
```

Fonctions anonymes

```
* (mapcar (lambda (x) (+ x 2)) '(3 4 5 6))

(5 6 7 8)
* (find-if (lambda (x) (> x 5)) '(5 8 3 9 4 2) :from-end t)

9
* (defparameter *l* (list "how" "hi" "are" "you"))

*L*
* (sort *l* (lambda (x y) (< (length x) (length y))))

("hi" "how" "are" "you")
* *l*

("how" "are" "you")
*
```

Structures de contrôle

- Blocs
- Contextes
- Conditionnels
- Itération
- Valeurs multiples
- Sauts non locaux

Blocs

Trois types de bloc: *progn*, *block*, *tagbody*

progn permet d'évaluer des expression en séquence. La valeur de la dernière expression est la valeur de l'expression *progn*

```
* (progn
    (setf *l* '(5 2 4 3))
    (setf *ll* (sort *l* #'<))
    (car *ll*))

2
*
```

Blocs

block est comme un *progn* avec un nom.

```
* (block found
    (print "hello")
    (when (> 3 2)
      (return-from found 23))
    (print "hi"))

"hello"
23
*
```

tagbody est la construction de base pour les blocs, mais n'est jamais utilisé directement par un utilisateur

Contexte

Un contexte est un bloc plus des variables locales

```
* (let ((len (length *features*))
        (fun (complement #'<)))
    (funcall fun len 10))

T
* (let* ((len (length *features*))
         (min (min len 5)))
    (make-array (list min)))

#(0 0 0 0 0)
*
```

Contexte

la dernière expression est équivalente à :

```
* (let ((len (length *features*)))
    (let ((min (min len 5)))
      (make-array (list min))))

#(0 0 0 0 0)
*
```

Conditionnels

```
(if (f ...)
    (g ...)
    "hello")

(when (f ...)
  (g ...)
  (setf x 23)
  (+ x y))

(unless (f ...)
  (g ...)
  (setf x 23)
  (+ x y))
```

Conditionnels

```
(cond ((> x 3) (setf y (g ...)) (+ x y))
      (finished (+ x 15))
      (t 0))

(case (f ...)
  ((apr jun sept nov) 30)
  (feb (if (leap-year) 29 28))
  (t 31))

(typecase ...)
```

Itération

```
(do ((i 0 (1+ i))
     (j n (1- i)))
    ((<= j 0) (+ x y))
  (format t "~a ~a~%" i j)
  (f i j))

(do* ...)

(dolist (elem (mapcar ...) 'done)
  (format t "~a~%" elem))

(dotimes (i 10 (+ x y))
  (format t "~a~%" i))

(mapc ...)
```

Itération

```
(loop for i from 1 to (compute-top-value)
      while (not (unacceptable i))
      collect (square i)
      do (format t "Working on ~D now~%" i)
      when (evenp i)
        do (format t "~D is a non-odd number~%" i)
      finally (format t "About to exit!"))
```

Valeurs multiples

```
* (multiple-value-bind (x y) (floor 75 4)
    (list x y))

(18 3)
* (values (cons 1 2) 'hello (+ 3 4))

(1 . 2)
HELLO
7
* (multiple-value-call #'+ (floor 75 4))

21
* (multiple-value-list (floor 75 4))

(18 3)
*
```

Macros

```
(defmacro nil! (var)
  (list 'setf var nil))
```

Evaluation en deux phases: macro-expansion puis évaluation

Important: la macro-expansion est faite par le compilateur.
L'expression :

(nil! x)

est transformée en l'expression :

(setf x nil)

qui sera compilée à la place de l'expression initiale Les macros permettent donc de programmer le compilateur.

Backquote

```
* (setf a 1 b 2)

2
* `(a is ,a and b is ,b)

(A IS 1 AND B IS 2)
* (defmacro nil! (var)
    `(setf ,var nil))

NIL!
* (nil! *x*)

NIL
*
```

Backquote

```
* (setf lst '(1 2 3))

(1 2 3)
* `(the list is ,lst I think)

(THE LIST IS (1 2 3) I THINK)
* `(the elements are ,@lst I think)

(THE ELEMENTS ARE 1 2 3 I THINK)
*
```

Exemples

```
(defmacro while (test &rest body)
  `(do ()
       ((not ,test))
     ,@body))

(defmacro for (init test update &rest body)
  `(progn
     ,init
     (while ,test
       ,@body
       ,update)))
```

Difficultés

Capture de variables

```
;;; incorrect
(defmacro ntimes (n &rest body)
  `(do ((x 0 (1+ x)))
       ((>= x ,n))
      ,@body))

* (let ((x 10))
    (ntimes 5
      (setf x (1+ x)))
    x)
10
*
```

Difficultés

Multiple évaluation

```
;;; incorrect
(defmacro ntimes (n &rest body)
  (let ((g (gensym)))
    `(do ((,g 0 (1+ ,g)))
         ((>= ,g ,n))
       ,@body)))

* (let ((v 10))
    (ntimes (setf v (1- v))
            (format t "*")))
*****
NIL
*
```

Difficultés

```
;;; correct
(defmacro ntimes (n &rest body)
  (let ((g (gensym))
        (h (gensym)))
    `(let ((,h ,n))
       (do ((,g 0 (1+ ,g)))
           ((>= ,g ,h))
         ,@body))))
```

Exemple: condlet

Nous souhaitons pouvoir faire quelque chose comme ceci :

```
* (condlet (((= 1 2) (x (princ 'a)) (y (princ 'b)))
            ((= 1 1) (y (princ 'c)) (x (princ 'd)))
            (t (x (princ 'e)) (z (princ 'f))))
    (list x y z))

CD
(D C NIL)
*
```

Exemple: condlet (suite)

Voici une solution possible :

```
(defmacro condlet (clauses &body body)
  (let ((bodfn (gensym))
        (vars (mapcar #'(lambda (v) (cons v (gensym)))
                      (remove-duplicates
                       (mapcar #'car
                               (mappend #'cdr clauses))))))
    `(labels ((,bodfn ,(mapcar #'car vars)
                ,@body))
       (cond ,@(mapcar #'(lambda (cl)
                           (condlet-clause vars cl bodfn))
                       clauses)))))

(defun condlet-clause (vars cl bodfn)
  `(,(car cl) (let ,(mapcar #'cdr vars)
```

```
                (let ,(condlet-binds vars cl)
                  (,bodfn ,@(mapcar #'cdr vars))))))

(defun condlet-binds (vars cl)
  (mapcar #'(lambda (bindform)
              (if (consp bindform)
                  (cons (cdr (assoc (car bindform) vars))
                        (cdr bindform))))
          (cdr cl)))
```

Exemple: with-db

L'idiome suivant est fréquent :

```
(let ((temp *db*))
  (setq *db* db)
  (lock *db*)
  (prog1 (eval-query q)
         (release *db*)
         (setq *db* temp)))
```

On souhaite pouvoir écrire~:

```
(with-db db
  (eval-query q))
```

Exemple: with-db (suite)

```
(defmacro with-db (db &body body)
  (let ((temp (gensym)))
    `(let ((,temp *db*))
       (unwind-protect
         (progn
           (setq *db* ,db)
           (lock *db*)
           ,@body)
         (progn
           (release *db*)
           (setq *db* ,temp))))))
```

Exemple: with-db (suite)

```
(defmacro with-db (db &body body)
  (let ((gbod (gensym)))
    `(let ((,gbod #'(lambda () ,@body)))
       (declare (dynamic-extent ,gbod))
       (with-db-fn *db* ,db ,gbod))))

(defun with-db-fn (old-db new-db body)
  (unwind-protect
       (progn
         (setq *db* new-db)
         (lock *db*)
         (funcall body))
    (progn
      (release *db*)
      (setq *db* old-db))))
```

Exemple: macros anaphoriques

```
(let ((it (complicated-calculation)))
  (if it
      (do-something-with it)
      (do-something-else-with it)))

(aif (complicated-calculation)
     (do-something-with it)
     (do-something-else-with it))
```

Exemple: macros anaphoriques (suite)

```
(defmacro aif (test-form then-form &optional else-form)
  `(let ((it ,test-form))
     (if it ,then-form ,else-form)))

(defmacro awhen (test-form &body body)
  `(aif ,test-form
    (progn ,@body)))

(defmacro awhile (expr &body body)
  `(do ((it ,expr ,expr))
       ((not it))
    ,@body))
```

Exemple: macros anaphoriques (suite)

```
(defmacro aand (&rest args)
  (cond ((null args) t)
        ((null (cdr args)) (car args))
        (t `(aif ,(car args) (aand ,@(cdr args))))))

(defmacro acond (&rest clauses)
  (if (null clauses)
      nil
      (let ((cl1 (car clauses))
            (sym (gensym)))
        `(let ((,sym ,(car cl1)))
           (if ,sym
               (let ((it ,sym)) ,@(cdr cl1))
               (acond ,@(cdr clauses)))))))
```

Introduction à la programmation par objets avec CLOS

(motivation)

La programmation ascendente est plus facile si les modules sont organisés par types de données.

Pour améliorer la maintenabilité du code, il faut éviter la duplication de code. Il faut donc factoriser le code.

Le langages de programmation traditionnels ne peuvent pas représenter cette organisation du code.

Introduction à la programmation orientée objets

La programmation orientée objets à été conçue pour résoudre certains problèmes de modularité et de réutilisabilité dus à l'utilisation de langages traditionnels (comme le C) pour l'écriture d'applications.

Par conséquent, l'utilité de la programmation orientée objets est difficile à comprendre pour des programmeurs non expérimentés.

Pour éviter l'influence de la terminologie d'un langage particulier, nous allons commencer par une discussion générale des notions de la conception et de la programmation orientées objets.

Puis, nos montrerons la correspondance entre ces notions et l'utilisation de CLOS pour la programmation orientée objets.

Définition: objet

Un *objet* est une valeur qui peut être affectée à une variable, fournie comme argument à une fonction, ou renvoyée par l'appel à une fonction.

Un objet a une *identité*. Deux objets peuvent être comparés concernant leurs identités.

Si la *sémantique par références uniforme* est utilisée, alors cette identité est préservée par l'affectation.

Souvent, un objet est implémenté par un pointeur sur de l'espace en mémoire, mais des objets simples peuvent ne pas avoir de la mémoire allouée. L'identité et la sémantique peuvent quand même être préservées, à condition que des effets de bord ne soient pas possibles sur ces objets.

Définition: type (abstrait)

Un *type abstrait* (ou simplement *type*) est un ensemble d'objets.

Par exemple, un objet de type voiture est aussi de type véhicule.

En particulier, un type peut être un sous type d'un autre type.

Un objet peut donc être de plusieurs types.

Les types ne sont pas forcement mutuellement exclusifs.

Opération

Un *opération* est une fonction ou une procédure dont les arguments sont des objets.

Chaque argument est d'un type particulier.

Par exemple, monter-moteur peut être une opération de deux arguments, un objet de type véhicule à moteur et un objet de type moteur. L'effet de bord de cette opération est de changer le moteur du véhicule.

Protocole

Un *protocole* est une collection d'opérations utilisées ensemble.

Typiquement, au moins un type est partagé entre toutes les opérations du protocole.

Exemple: Dessiner des objets graphiques. Un tel protocole peut par exemple contenir les opérations dessiner, effacer et déplacer, utilisant des objets de type window, pixmap, cercle, rectangle, etc.

Classe

Une *classe* est utilisée pour décrire les détails d'implémentation d'objets, tels que le nombre et les noms des champs (ou créneaux).

Un type est typiquement constitué par un *ensemble de classe* qui peuvent être relatées par l'héritage (mais qui ne le sont pas forcement).

Un objet est l'*instance directe* d'exactement une classe. C'est *la classe de l'objet*.

Remarque: on peut donc parler de la classe d'un objet mais pas du type d'une objet.

Héritage

Les classes sont organisées dans un *graphe sans cycles* (*héritage multiple*) ou dans un *arbre* (*héritage simple*).

Un objet est instance de la classe C si et seulement si il est soit l'instance directe de C ou instance d'une classe qui hérite de C (ou équivalent: qui est dérivée de C).

Si un type contient la classe C, il contient aussi toutes les classe dérivées de C.

Méthode

Une *méthode* est une *implémentation partielle d'une opération*. L'implémentation est partielle, car la méthode l'implémente uniquement pour des arguments instances de certaines classes.

Pour que l'opération soit complète, il faut que les méthodes couvrent l'ensemble des classes des types des arguments.

Les méthodes d'une opération peuvent être *physiquement réparties*.

Toutes les méthodes d'une seule opération ont le même nom.

Fonctions génériques

Une *fonction générique* est une implémentation complète d'une opération.

Elle est utilisée comme une fonction ordinaire.

Une implémentation partielle (une méthode) est choisie selon la classe des arguments.

Sélection

Le mécanisme de *sélection* est responsable du choix d'une méthode particulière d'une fonction générique selon la classe des arguments.

En CLOS, la sélection est *multiple*, à savoir, plusieurs arguments sont utilisés pour déterminer la méthode choisie.

Héritage multiple

C'est la possibilité en CLOS pour une classe d'être dérivée de plusieurs autres classes.

Comparaison avec Java (et C++, Smalltalk, Eiffel, etc)

Typage statique

Ces langages sont *statiquement typés*, ce qui veut dire que l'utilisateur est obligé de déclarer la classe des variables et des arguments à une fonction ou procédure.

Par conséquent, un type abstrait doit aussi être une classe. On introduit donc souvent une classe racine (parfois sans instances) dont le nom est le nom du type abstrait

Restrictions sur les opérations

Tous ces langages ont la *sélection simple*, à savoir qu'une la méthode d'une opération peut être déterminée uniquement par un seul argument (le premier).

Le premier argument est tellement différent que la syntaxe est spéciale:

CLOS: `(mount-engine my-car the-engine)`

Autres: `my_car.mount_engine(the_engine)`

ou: `the_engine.mount_engine(my_car)`

selon si la sélection est souhaité par le type de voiture ou le type de moteur.

Restrictions sur les opérations

Cette syntaxe spéciale est responsable de l'impossibilité de passer une opération en tant qu'argument à une autre opération.

C'est pourquoi ces langages traitent le premier argument différemment des autres.

Relations entre classe et méthodes

Avec ces langages, la relation entre une classe et un ensemble de méthodes est tellement forte que les méthodes sont physiquement à l'intérieur de la définition de la classe.

Héritage simple ou multiple

Certains de ces langages ont l'héritage simple uniquement, par exemple Smalltalk.

Certains autres ont l'héritage multiple, comme C++.

Le langage Java à l'héritage simple plus la notion d'interface presque équivalent à l'héritage multiple.

Terminologie CLOS

La structure d'une instance est définie par les *créneaux* (slots)

Chaque créneau a un nom et une valeur (similaires aux champs d'une structure) .

Un créneau est soit *local* (une valeur différente dans chaque instance) ou partagé (une valeur commune pour l'ensemble des instances).

Une classe peut être définie comme une extension d'une autre classe ou de plusieurs autres classes, appelées *superclasses*. La nouvelle classe est une *sous-classe* de ses superclasses.

Terminologie CLOS

Un ensemble d'objets est représenté par un *objet de type classe*.

Un objet dans l'ensemble est une *instance directe* de la classe.

Chaque instance directe d'une classe a la même structure et le même type.

Fonctions Génériques

Une fonction générique est une *définition d'interface* et non d'implémentation.

L'implémentation d'une fonction générique est faite par zéro, une ou plusieurs *méthodes*.

Le choix de la méthode à utiliser est déterminé par le types des arguments (mécanisme de *sélection* (dispatch)).

En CLOS, la sélection est déterminé par *l'ensemble des argument* (multiple dispatch, multi methods), alors que d'autres langages n'utilisent que le premier argument pour la sélection.

Exemple: Pacman

```
(defclass participant ()
  ((position :initarg :position :accessor participant-position))
  (:documentation "a generic game participant"))

(defclass mobile-participant (participant)
  ()
  (:documentation "base class for all mobile participants"))

(defclass pacman (mobile-participant)
  ((force :initform 0 :accessor pacman-force)
   (invincible :initform nil :accessor pacman-invincible))
  (:documentation "the hero of the game"))
```

Création d'instances

```
(defclass position ()
  ((x :initarg :x :reader pos-x)
   (y :initarg :y :reader pos-y)))

(defun make-position (x y)
  (make-instance 'position :x x :y y))

(defun make-pacman (&optional (x 0) (y 0))
  (make-instance 'pacman :position (make-position x y)))
```

Fonctions génériques

```
(defgeneric move-participant (mobile-participant x y)
  (:documentation "change the location of a participant on the board"))

(defgeneric collision (participant1 participant2)
  (:documentation "handle a collision between two participants"))
```

Les méthodes

```
(defmethod move-participant ((p mobile-participant) x y)
  (setf (participant-position p)
        (make-position x y)))

(defmethod collision ((p1 participant) (p2 (eql nil)))
  p1)

(defmethod collision ((p1 (eql nil)) (p2 participant))
  p2)

(defmethod collision ((pac pacman) (tab tablet))
  (incf (slot-value pac 'force))
  pac)
```

Les méthodes (suite)

La liste des argument (lambda list) contient des paramètres spécialisés par des classes.

Une méthode est applicable uniquement si la restriction sur les classes est vérifiée.

Les méthodes (suite)

Utilisation de méthodes *:after*

```
(defmethod collision :after ((pac pacman) (tab super-tablet))
  (setf (slot-value pac 'invincible) t))

(defmethod initialize-instance :after ((p participant)
                                       &rest initargs
                                       &key &allow-other-keys)
  (declare (ignore initargs))
  (let* ((pos (participant-position p))
         (x (pos-x pos))
         (y (pos-y pos)))
    (setf (aref *board* x y) p)))
```

Les méthodes (suite)

Utilisation de méthodes *:before* et *:after* sur les *setters* :

```
(defmethod (setf participant-position) :before ((pos position)
                                                 (p participant))
  (let ((old-pos (participant-position p)))
    (setf (aref *board* (pos-x old-pos) (pos-y old-pos))
          nil)))

(defmethod (setf participant-position) :after ((pos position)
                                                (p participant))
  (let ((x (pos-x pos))
        (y (pos-y pos)))
    (setf (aref *board* x y)
          (collision p (aref *board* x y)))))
```

Sauts non locaux

Un façon d'abandonner l'exécution actuelle et de continuer à un autre point du programme

Trois types: *go*, *return-from*, *throw*

Le contenu de la pile entre le sommet et la cible du transfert et abandonné (y compris les liens dynamiques de variables spéciales, tags *catch*, et traitants de conditions)

Les formes protégées par *unwind-protect* sont exécutées

Contrôle est transféré à la cible

catch/throw

catch est utilisé pour établir une étiquette à utiliser par *throw* puis une suite de formes est évaluée, comme avec *progn*.

L'étiquette peut être n'importe quel objet (mais c'est souvent un symbole constant).

Si pendant l'évaluation des formes, il y a un *throw* à l'étiquette, alors l'évaluation est abandonnée et *catch* renvoie les valeurs envoyées par *throw*.

catch/throw

```
* (defun f (x)
    (throw 'hello 345))

F
* (defun g (a)
    (catch 'hello
      (print 'hi)
      (f a)
      (print 'bonjour)))

G
* (g 234)

HI
345
*
```

return-from

Similaire à `break` du langage C

```
* (block hello
    (list 'a 'b 'c)
    (when (< *print-base* 20)
      (return-from hello 234))
    (error "an error"))

234
*
```

Situations exceptionnelles

Il y en a trois types: Les échecs
Ce sont des situations dues aux défauts de programmation.

L'épuisement de ressources
C'est quand il n'y a plus de mémoire ou quand le disque est plein.

Les autres
Ce sont des situations normales, prévues par le programmeur, mais dont le traitement nécessite une structure de contrôle particulière.

Les échecs

Il n'y rien à faire.

Il faut arrêter l'exécution le plus vite possible.

Il ne sert à rien de faire mieux, car on ne sait pas dans quel état se trouve le programme.

Avec la macro *assert*, on peut parfois tester les échecs et arrêter l'exécution avec un message standard.

La macro *assert* est aussi une bonne méthode pour documenter l'interface d'un type abstrait.

À l'aide du compilateur, on peut supprimer les tests quand on est "sûr" qu'il n'y a plus de défauts.

Il est souvent mieux de les laisser (sauf ceux qui coûtent cher).

L'épuisement de ressources

Dans un programme non interactif, facile à relancer, arrêter l'exécution avec un message destiné à l'utilisateur (et non comme *assert* destiné au programmeur).

Dans un programme interactif, c'est un peu trop brutal.

Relancer la boucle d'interaction après un message indiquant comment faire pour libérer des ressources.

La programmation dans le cas interactif est très délicate. Il ne faut pas que le message ou les commandes pour la libération de ressources nécessitent de la ressource épuisée (l'affichage peut nécessiter de la mémoire, par exemple).

Les autres

Ouverture d'un fichier qui n'existe pas, mais c'est normal

Parcours d'un tableau à la recherche d'un élément particulier, et on l'a trouvé.

Tentative de reculer d'un caractère, alors que le point est au début du tampon.

Multiplication d'une suite de nombres, et l'un des nombres est zéro.

Etc...

Le problème des situations exceptionnelles

La situation est souvent détectée par du code de bas niveau

Mais c'est du code haut niveau qui possède la connaissance pour son traitement

Exemple (ouverture de fichier non existant):

Le problème est détecté par open (très bas niveau) fichier utilisateur c'est une situation de type "autre".

Si c'est un fichier d'installation c'est un défaut. Si c'est un

Il faut donc communiquer le problème du bas niveau au haut niveau

Conditions

Une *condition* est une instance (direct ou non) de la classe *condition*.

C'est donc un objet avec des créneaux.

Une condition est signalée à un *traitant* éventuel.

Le traitant est une fonction (ordinaire ou générique) d'un seul argument, la condition.

Le traitant est associé à un *type* de conditions, et le traitant est appelé seulement si la condition est du bon type.

Conditions

Pour définir des sous classes de la classe "condition" utiliser *define-condition* et non *defclass*.

Pour créer une instance de la classe *condition*, utiliser *make-condition* et non *make-instance*.

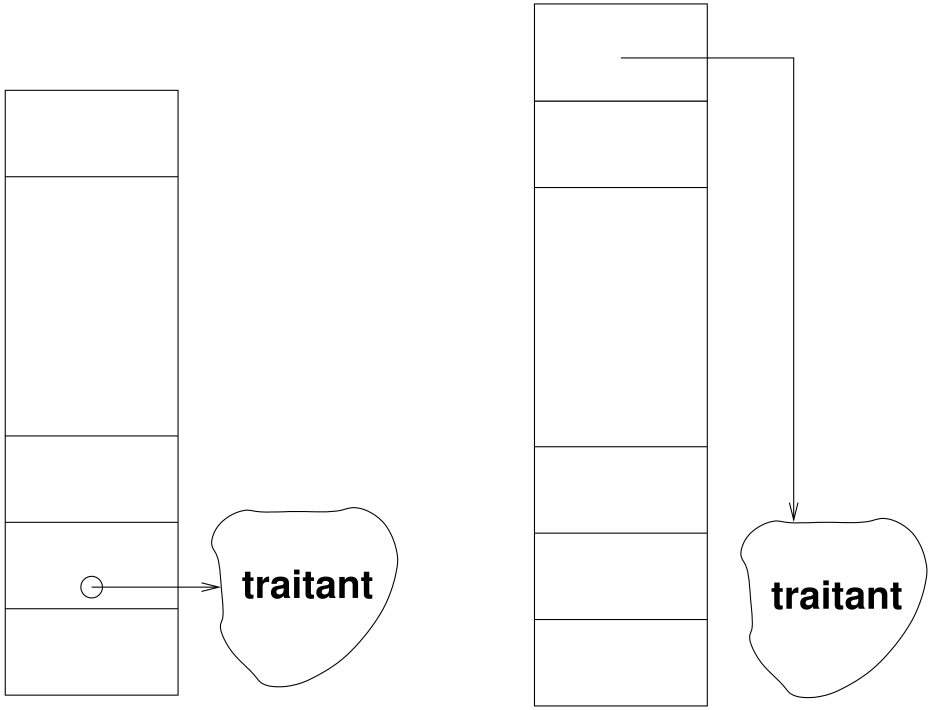
Plusieurs types de conditions existent: *arithmetic-error*, *end-of-file*, ...

Conditions (suite)

La signalisation d'une condition se fait en deux étapes :

1. La recherche d'un traitant actif associé au type de la condition à signaler,

2. Le traitant trouvé est appelé.



Conditions (suite)

Les traitant est désactivé avant d'être appelé.

La pile est intacte pendant l'exécution du traitant.

Ceci permet d'examiner la pile par le debugger et de continuer l'exécution du programme dans certains cas

Le traitant peut:

1. refuser (decline). Pour ça, il retourne normalement,
2. traiter. Pour ça, il exécute un saut non local,
3. reporter la décision. Il peut par exemple appeler le debugger, ou signaler une autre condition.

Conditions (suite)

Les traitants sont établis avec *handler-bind* ou *handler-case*

Pour signaler, on utilise *signal*, *warn*, *error*, *cerror*, *assert*, etc

Conditions (suite)

```
* (define-condition zero-found ()
    ())

ZERO-FOUND
* (defun multiply-leaves (l)
    (cond ((consp l) (reduce #'* (mapcar #'multiply-leaves l)))
          ((zerop l) (signal 'zero-found))
          (t l)))

MULTIPLY-LEAVES
* (multiply-leaves '((1 2 (3 4)) (((5 6))) 7))

5040
*
```

Conditions (suite)

```
* (handler-case
      (multiply-leaves '((1 2 (3 0)) (((5 6))) "hello"))
    (zero-found () 0))

0
*
```

Spécifications de types

Utilité:

- Vérification de type
- Optimisation de la compilation
- Représentation de données (tableaux de bits, flots d'octets, ...)

Les types simples sont indiqués par des symboles.

Les types simples forment une arborescence (ou plutôt un DAG)

Le type simple le plus général est t (un objet et toujours de type t)

Le type simple le mois général est *nil* (aucun objet n'est de type *nil*)

Types non simples

On peut construire une spécification de type pour n'importe quel ensemble d'objets

Exemple:

```
(or vector (and list (not (satisfies circular?))))
(integer 1 100)
```

Possibilité d'indiquer le type contenu dans un tableau:

```
(simple-array fixnum)
(make-array (list height width) :element-type 'bit)
```

Certains éléments du type peuvent être omis:

```
(simple-array fixnum (* *))
(simple-array fixnum *)
```

Définition de nouveaux noms de types

Utilisation de la macro *deftype* (similaire à *defmacro*)

```
* (deftype proseq ()
    '(or vector (and list (not (satisfies circular?)))))

PROSEQ
* (typep #(1 2) 'proseq)

T
*
```

Définition de nouveaux noms de types

Paramétrage avec des arguments:

```
* (deftype multiple-of (n)
    `(and integer (satisfies (lambda (x)
                                (zerop (mod x ,n))))))

MULTIPLE-OF
* (typep 12 '(multiple-of 4))

T
* (typep 12 '(multiple-of 5))

NIL
*
```

Flots binaires

```
(with-open-file
  (input filename :direction input
                  :element-type 'unsigned-byte)
  ...
  (read-byte input)
  ...
  ...)
```

Read macros

Possibilité de programmer la fonction de lecture de code

Association entre un caractère est une fonction arbitraire

Les caractères ' (quote) et ` (anti quote) sont implémentés en utilisant ce mécanisme

```
(set-macro-character #\'
  #'(lambda (stream char)
      (list (quote quote) (read stream t nil t))))
```

Read macros (suite)

Possibilité de définir des caractères similaires à # (mais pas souvent nécessaire)

Possibilité de rajouter un deuxième caractère à # (ou similaire) avec *set-dispatch-macro-character*

Read macros (suite)

```
* (set-dispatch-macro-character
    #\# #\?
    #'(lambda (stream char1 char2)
        (list 'quote
              (let ((lst nil))
                (dotimes (i (+ (read stream t nil t) 1))
                  (push i lst))
                (nreverse lst)))))

...
* #?7

(0 1 2 3 4 5 6 7)
*
```

caractères réservés au programmeur: #!, #?, #[, #], #{, #}

Read macros (suite)

Création de listes:

```
* (set-macro-character #\} (get-macro-character #\)))

T
*
```

Read macros (suite)

```
* (set-dispatch-macro-character
   #\# #\{
   #'(lambda (stream char1 char2)
       (let ((accum nil)
             (pair (read-delimited-list #\} stream t)))
         (do ((i (car pair) (+ i 1)))
             ((> i (cadr pair))
              (list 'quote (nreverse accum)))
           (push i accum)))))

...
* #2 7

(2 3 4 5 6 7)
*
```

Packages

Pour traduire un nom à un symbole.

Package courant dans **package**

Le package courant est utilisé par *read*

Initialement, le package courant est *common-lisp-user*

Fonctions *package-name* et *find-package*:

```
* (package-name *package*)

"COMMON-LISP-USER"
* (find-package "COMMON-LISP-USER")

#<The COMMON-LISP-USER package, 132/192 internal, 0/9 external>
```

Packages

Fonction symbol-package pour obtenir le package d'un symbole

```
* (symbol-package 'sym)

#<The COMMON-LISP-USER package, 133/192 internal, 0/9 external>
*
```

Packages (suite)

Création et changement de package:

```
* (defparameter sym 99)

SYM
* (setf *package* (make-package 'mine :use '(common-lisp)))

#<The MINE package, 0/9 internal, 0/9 external>
* sym

Error ...

* common-lisp-user::sym

99
*
```

Éviter l'utilisation de ::

Packages (suite)

Utiliser plutôt le concept d'exportation

```
* (in-package common-lisp-user)

#<The COMMON-LISP-USER package, 135/192 internal, 0/9 external>
* (export 'bar)

T
* (defparameter bar 5)

BAR
*
```

Packages (suite)

```
* (in-package mine)

#<The MINE package, 3/9 internal, 0/9 external>
* common-lisp-user:bar

5
* (import 'common-lisp-user:bar)

T
* bar
5
*
```

Packages (suite)

Importation de l'ensemble des symboles exportés:

```
* (use-package 'common-lisp-user)

T
*
```

Loop

```
(defun most (fn lst)
  (if (null lst)
      (values nil nil)
      (let* ((wins (car lst))
             (max (funcal fn wins)))
        (dolist (obj (cdr lst))
          (let ((score (funcall fn obj)))
            (when (> score max)
              (setf wins obj
                    max score))))
        (values wins max))))
```

Loop

```
(defun most (fn lst)
  (if (null lst)
      (values nil nil)
      (loop with wins = (car lst)
            with max = (funcall fn wins)
            for obj in (cdr lst)
            for score = (funcall fn obj)
            when (> score max)
              do (setf wins obj
                       max score)
            finally (return (values wins max)))))
```