Langages Enchâssés

Enseignants : Robert Strandh & David Sherman

Planning : 7x3h de cours/TD/TP + un examen

Horaires : mercredi 14h-17h

Lieu : Salle TD13 ENSEIRB

Web : `http://dept-info.labri.fr/~strandh/`
puis suivre lien

Support de cours

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

Paul Graham :
On Lisp : Advanced Techniques for Common Lisp

Transparents

Bibliographie

Paul Graham : ANSI 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)

Petits langages

Ce sont des langages spécifiques à un domaine :

- requêtes dans une base de données,
- description d'un circuit électrique,
- description d'une imprimante,
- dessin de courbes,
- etc.

Exemples de petits langages

- termcap (description de terminaux),
- X11 ressources (interfaces graphiques),
- TCL (interfaces graphiques),
- sendmail (courrier électronique).

Implémentation traditionnelle

L'implémentation d'un petit langage se fait traditionnellement d'une des manières suivantes :

- préprocesseur,
- interpréteur,
- compilateur.

Difficultés :

- préprocesseur : ordre et compatibilité entre plusieurs pré-processeurs,
- interpréteur : performance + réimplémentation de fonctions de base,
- compilateur : difficulté d'implémentation + réimplémentation de fonctions de base.

Définition de Langage Enchâssé

C'est une technique du Génie Logiciel pour implémenter des petits langages.

L'idée est d'augmenter un langage existant (le langage hôte) avec les fonctionnalités nécessaires pour le petit langage.

Le petit langage sera donc enchâssé dans le langage hôte.

Abstraction

Il y a trois mécanismes d'abstraction nécessaires :

- abstraction de données (structures, classes),
- abstraction de contrôle (procédures, méthodes),
- abstraction syntaxique (formes spéciales).

Les langages habituels ne sont pas capables d'exprimer l'abstraction syntaxique.

Pourtant elle est nécessaire pour la construction d'un langage enchâssé.

Objectif du module

Présentation des techniques d'implémentation des langages enchâssés grâce aux macros Common Lisp.

Avantage :

- imbrication de plusieurs langages possible,
- compilation si le langage hôte est compilé,
- importation en masse des fonctions de base du langage hôte.

Contenu Cours

- présentation rapide de Common Lisp (comparaison avec Scheme),
- les macros Common Lisp,
- présentation d'un langage enchâssé.

Contenu TD/TP

- Emacs pour la programmation en Common Lisp,
- écriture et mise au point de macros.

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)

À l'ENSEIRB, 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* :

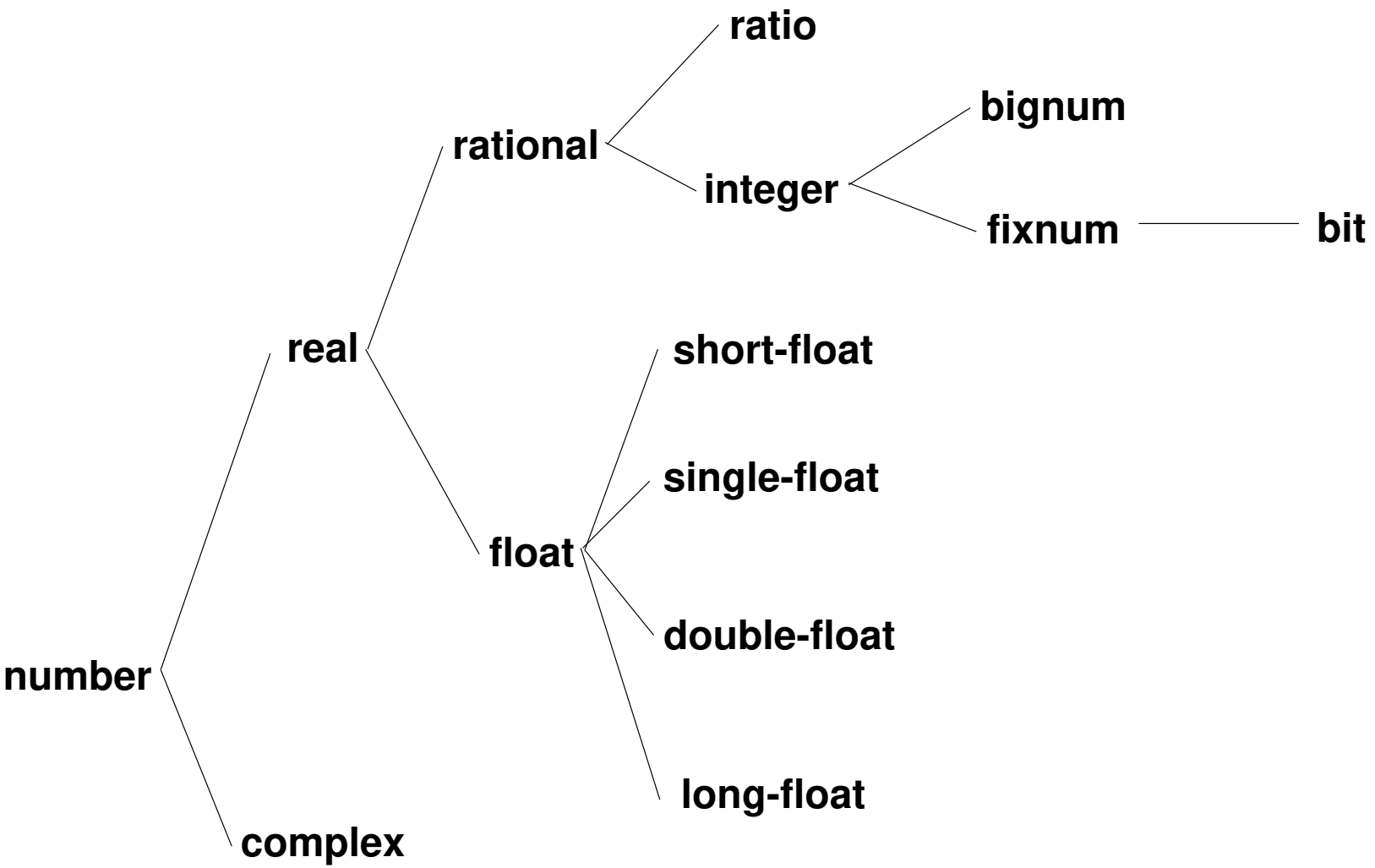
```
* (defun double (x)
    (* 2 x))

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


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

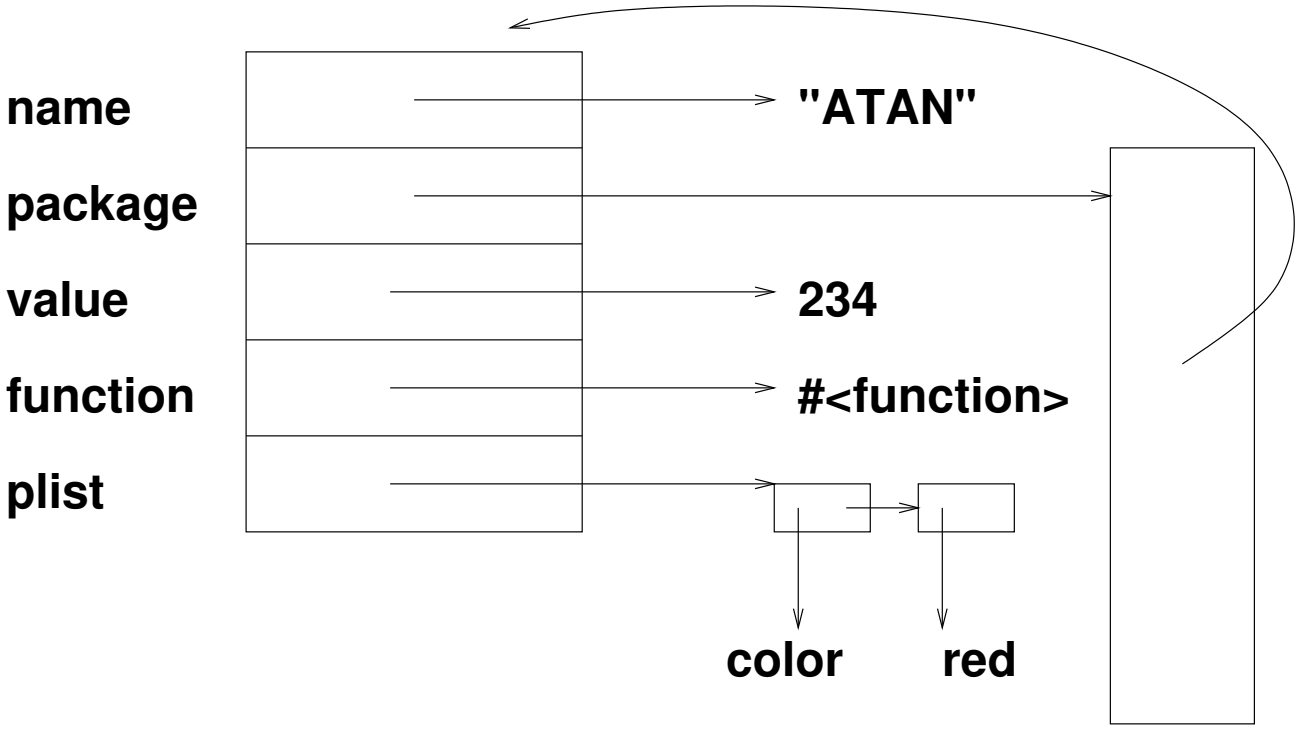
Tableau d'hachage dans le paquetage (package) courant.

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 : *#\a*, *#\b*, *#\Space*, *#\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"*, ...

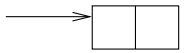
Une chaîne de caractères est un vecteur, et un vecteur est un tableaux mais aussi une séquence.

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

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

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

NIL
*
```

Listes

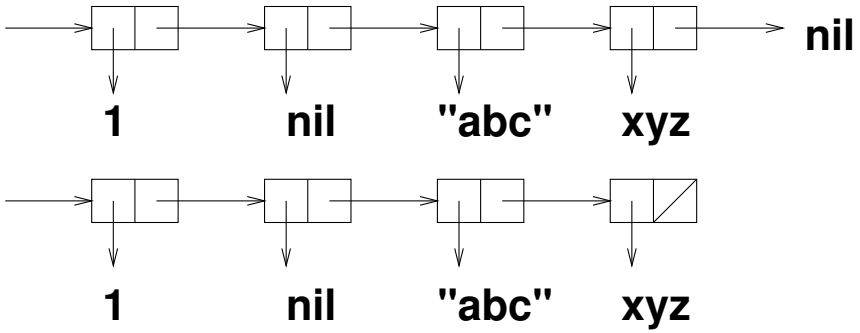
Une list est une séquence

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



Listes

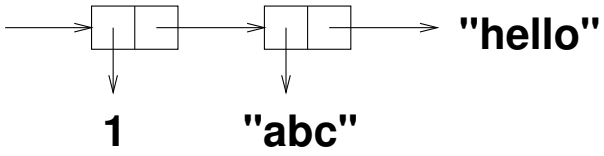
Une liste (anglais: proper list) est une suite de paires terminée par *nil*.



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)
*
```

Langage enchâssé : prescript

- Comme PostScript mais préfixe au lieu de postfixe,
- Construction de chemin (divisé en sous chemins), puis traçage du chemin,
- Environnement actuel contenant un point actuel, une transformation actuelle, et un chemin actuel.
- Environnements organisés sous la forme d'une pile. Le sommet de la pile est l'environnement actuel.

Langage enchâssé : prescript

Le chemin actuel est exprimé en coordonnés *physiques*.

Les commandes de dessin acceptent des coordonnés *utilisateur*.

La transformation actuelle traduit entre les deux.

Langage enchâssé : prescript

Modification de la transformation actuelle : `translate`, `scale`, `rotate`

Commencer un nouveau sous chemin : `moveto`

Rajouter un segment au chemin actuel : `lineto`, `curveto`, `arcto` (seul `lineto` sera implémenté)

Tracer le chemin actuel : `stroke`

Sauver l'environnement actuel : `gsave`

Exemple de prescript

```
(let ((x 100) (y 200))
  ...
  (translate x y)
  (moveto (* 2 x) y)
  (lineto 430 460)
  (stroke))
  (moveto 0 0)
    (loop for i from 0 to 100 by 10
          do (gsave (lineto i (- 200 i)) (stroke)))
  ...)
```

Le support X11

```
(defparameter *dpy* nil)
(defparameter *win* nil)
(defparameter *gctxt* nil)

(defun get-environment-variable (string)
  (cdr (assoc string ext:*environment-list* :test #'string=)))

(defun parse-display-variable (s)
  (let* ((colon (position #\: s))
         (dot (position #\. s :start colon))
         (host-name (if (zerop colon) "localhost" (subseq s 0 colon)))
         (display-number (parse-integer s :start (1+ colon) :end dot)))
    (values host-name display-number)))
```

Le support X11

```
(defun open-window ()
  (multiple-value-bind (host display)
      (parse-display-variable (get-environment-variable "DISPLAY"))
    (let* ((dpy (xlib:open-display host :display display))
           (screen (xlib:display-default-screen dpy))
           (black (xlib:screen-black-pixel screen))
           (white (xlib:screen-white-pixel screen))
           (win (xlib:create-window :parent (xlib:screen-root screen)
                                    :background white
                                    :x 0 :y 0 :width 500 :height 500))
           (gcontext (xlib:create-gcontext :drawable win
                                           :background white
                                           :foreground black)))
```

Le support X11

```
        (xlib:map-window win)
        (xlib:display-force-output dpy)
        (setf *dpy* dpy
              *win* win
              *gctxt* gcontext))))

(defun draw-line (x1 y1 x2 y2)
  (xlib:draw-line *win* *gctxt* (round x1) (round y1) (round x2) (round
  (xlib:display-force-output *dpy*))
```

Point

```
(defclass point ()
  ((x :initarg :x)
   (y :initarg :y)))

(defun make-point (x y)
  (make-instance 'point :x x :y y))
```

Transformation

```
(defclass transformation ()
  ((mxx :initarg :mxx)
   (mxy :initarg :mxy)
   (myx :initarg :myx)
   (myy :initarg :myy)
   (tx :initarg :tx)
   (ty :initarg :ty)))

(defun get-transformation (transformation)
  (with-slots (mxx mxy myx myy tx ty) transformation
    (values mxx mxy myx myy tx ty)))
```

Transformation

```
(defun make-transformation (mxx mxy myx myy tx ty)
  (make-instance 'transformation
    :mxx mxx :mxy mxy :myx myx :myy myy :tx tx :ty ty))

(defun make-translation-transformation (tx ty)
  (make-transformation 1 0 0 1 tx ty))

(defun make-rotation-transformation (angle)
  (let ((radians (* angle #.(/ pi 180))))
    (let ((s (sin radians))
          (c (cos radians)))
      (make-transformation c (- s) s c 0 0))))

(defun make-scaling-transformation (sx sy)
  (make-transformation sx 0 0 sy 0 0))
```

Transformation

```
(defun compose-transformations (t1 t2)
  (multiple-value-bind (mxx1 mxy1 myx1 myy1 tx1 ty1)
      (get-transformation t1)
    (multiple-value-bind (mxx2 mxy2 myx2 myy2 tx2 ty2)
        (get-transformation t2)
      (make-transformation (+ (* mxx1 mxx2) (* mxy1 myx2))
                           (+ (* mxx1 mxy2) (* mxy1 myy2))
                           (+ (* myx1 mxx2) (* myy1 myx2))
                           (+ (* myx1 mxy2) (* myy1 myy2))
                           (+ (* mxx1 tx2) (* mxy1 ty2) tx1)
                           (+ (* myx1 tx2) (* myy1 ty2) ty1)))))
```

Transformation

```
(defun transform-point (point transformation)
  (with-slots (mxx mxy myx myy tx ty) transformation
    (with-slots (x y) point
      (make-point (+ (* mxx x) (* mxy y) tx)
                  (+ (* myx x) (* myy y) ty)))))
```

Chemin

```
;;; A path is a list of subpaths.  Each valid subpath contains
;;; a list of elements (line- , curve-, and arc segments) with the
;;; last element being a point, the origin of the subpath.

;;; create an uninitialized path
(defun new-path ()
  '())

;;; initialize a path with a point
(defun initialize-path (path point)
  (cons (list point) path))
```

Chemin

```
;;; add an element to an initialized path
(defun add-element (path element)
  (assert (car path))
  (cons (cons element (car path)) (cdr path)))

(defgeneric stroke-one (point segment))

(defun stroke-subpath (subpath)
  (reduce #'stroke-one (cdr subpath) :initial-value (car subpath)))

(defun stroke-path (path)
  (mapc #'stroke-subpath (reverse (mapcar #'reverse path))))
```

Segment

```
(defclass lineseg ()
  ((point :initarg :point)))

(defun make-lineseg (point)
  (make-instance 'lineseg :point point))

(defmethod stroke-one (point (seg lineseg))
  (let ((p2 (slot-value seg 'point)))
    (draw-line (slot-value point 'x)
               (slot-value point 'y)
               (slot-value p2 'x)
               (slot-value p2 'y))
    p2))
```

Environnement

```
(defclass env ()
  ((position :initarg :position)
   (transformation :initarg :transformation)
   (path :initform (new-path) :initarg :path)))

(defun make-initial-env ()
  (make-instance 'env
    :position (make-point 0 0)
    :transformation (make-transformation 1 0 0 -1 0 500)))

(defun copy-env (env)
  (with-slots (position transformation path) env
    (make-instance 'env
      :position position :transformation transformation :path path)))
```

Un interprète pour prescript

```
* (prescript-interpreter
    '((moveto 2 4)
      (lineto 20 10)
      (gsave (lineto 34 23) (stroke))
      (lineto 44 55)))

*
```

Un interprète pour prescript

```
(setf (get 'moveto 'prescript)
      #'(lambda (envstack x y)
          (with-slots (position transformation path) (car envstack)
            (let ((p (transform-point (make-point x y) transformation)))
              (setf position p)
              (setf path (cons (list p) path))))))

(setf (get 'scale 'prescript)
      #'(lambda (envstack sx sy)
          (with-slots (transformation) (car envstack)
            (setf transformation
                  (compose-transformations
                   transformation (make-scaling-transformation sx sy))))))
```

Un interprète pour prescript

```
(setf (get 'translate 'prescript)
      #'(lambda (envstack tx ty)
          (with-slots (transformation) (car envstack)
            (setf transformation
                  (compose-transformations
                   transformation (make-translation-transformation tx t

(setf (get 'rotate 'prescript)
      #'(lambda (envstack angle)
          (with-slots (transformation) (car envstack)
            (setf transformation
                  (compose-transformations
                   transformation (make-rotation-transformation angle))
```

Un interprète pour prescript

```
(setf (get 'newpath 'prescript)
      #'(lambda (envstack)
          (with-slots (path) (car envstack)
            (setf path (new-path)))))

(setf (get 'lineto 'prescript)
      #'(lambda (envstack x y)
          (with-slots (position transformation path) (car envstack)
            (let ((p (transform-point (make-point x y) transformation)))
              (setf path (add-element path (make-lineseg p)))
              (setf position p)))))

(setf (get 'stroke 'prescript)
      #'(lambda (envstack)
          (with-slots (path) (car envstack)
            (stroke-path path))))
```

Un interprète pour prescript

```
(setf (get 'gsave 'prescript)
      #'(lambda (envstack &rest commands)
          (let ((newenvstack (cons (copy-env (car envstack)) envstack)))
            (loop for command in commands
                  do (apply (get (car command) 'prescript)
                            newenvstack
                            (cdr command))))))

(defun prescript-interpreter (commands)
  (let ((envstack (list (make-initial-env))))
    (loop for command in commands
          do (apply (get (car command) 'prescript)
                    envstack
                    (cdr command)))))
```

Un interprète pour prescript

```
(setf (get 'machin 'prescript)
      #'(lambda (...)
          ...))
```

Un interprète pour prescript

```
;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;
;;; Additional support

(defmacro defprescript (name arglist &body body)
  `(setf (get ',name 'prescript)
    #'(lambda (envstack ,@arglist)
        (with-slots (position transformation path) (car envstack)
          ,@body))))
```

Un interprète pour prescript

```
;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;
;;; The interpreter

(defprescript moveto (x y)
  (let ((p (transform-point (make-point x y) transformation)))
    (setf position p)
    (setf path (cons (list p) path))))

(defprescript scale (sx sy)
  (setf transformation
        (compose-transformations
         transformation (make-scaling-transformation sx sy))))
```

Un interprète pour prescript

```
(defprescript translate (tx ty)
  (setf transformation
        (compose-transformations
         transformation (make-translation-transformation tx ty))))

(defprescript rotate (angle)
  (setf transformation
        (compose-transformations
         transformation (make-rotation-transformation angle))))
```

Un interprète pour prescript

```
(defprescript newpath ()
  (setf path (new-path)))

(defprescript lineto (x y)
  (let ((p (transform-point (make-point x y) transformation)))
    (setf path (add-element path (make-lineseg p)))
    (setf position p)))

(defprescript stroke ()
  (stroke-path path))
```

Un interprète pour prescript

```
(defprescript gsave (&rest commands)
  (let ((newenvstack (cons (copy-env (car envstack)) envstack)))
    (loop for command in commands
          do (apply (get (car command) 'prescript)
                    newenvstack
                    (cdr command)))))

(defun prescript-interpreter (commands)
  (let ((envstack (list (make-initial-env))))
    (loop for command in commands
          do (apply (get (car command) 'prescript)
                    envstack
                    (cdr command)))))
```

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)))))))
```

Un compilateur pour prescript

```
(defmacro with-transformed-point ((x y p) &body body)
  `(let ((,p (transform-point (make-point ,x ,y) transformation)))
    ,@body))

(defmacro with-current-env (envstack &body body)
  (let ((e (gensym)))
    `(let ((,e (car ,envstack)))
      (with-slots (position transformation path) ,e
        ,@body))))
```

Un compilateur pour prescript

```
(defmacro prescript (&body body)
  (let ((envstack (gensym)))
    `(let ((,envstack (list (make-initial-env))))
       (labels
          ((moveto (x y)
             ...)
           (scale (sx sy)
             ...)
           (translate (tx ty)
             ...)
           ...)
        ,@body
        (values)))))
```

Un compilateur pour prescript

```
(moveto (x y)
  (with-current-env ,envstack
    (with-transformed-point (x y p)
      (setf position p)
      (setf path (initialize-path path p)))))
(scale (sx sy)
  (with-current-env ,envstack
    (setf transformation
          (compose-transformations
           transformation (make-scaling-transformation sx sy)))))
```

Un compilateur pour prescript

```
(translate (tx ty)
  (with-current-env ,envstack
    (setf transformation
          (compose-transformations
           transformation (make-translation-transformation tx ty)))))
(rotate (angle)
  (with-current-env ,envstack
    (setf transformation
          (compose-transformations
           transformation (make-rotation-transformation angle)))))
```

Un compilateur pour prescript

```
(newpath ()
  (with-current-env ,envstack
    (setf path (new-path))))
(lineto (x y)
  (with-current-env ,envstack
    (with-transformed-point (x y p)
      (setf path (add-element path (make-lineseg p)))
      (setf position p))))
(stroke ()
  (with-current-env ,envstack
    (stroke-path path))))
```

Le problème de gsave

```
(defmacro prescript (&body body)
  (let ((envstack (gensym)))
    `(let ((,envstack (list (make-initial-env))))
       (labels
          ((moveto (x y)
             ...)
           ...)
        (macrolet ((gsave (&body body)
                     ...))
          ,@body
          (values))))))
```

Le problème de gsave

```
(defmacro prescript (&body body)
  (let ((envstack (gensym)))
    `(let ((,envstack (list (make-initial-env))))
       (labels ...
        (macrolet ((gsave (&body body)
                     `(progn (push (copy-env (car ,',envstack))
                                   ,',envstack)
                       (unwind-protect (progn ,@body)
                         (pop ,',envstack)))))
          ,@body
          (values))))))
```

Un compilateur extensible

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

(defparameter *expanders* '())

(defmacro defprescript (name arglist &body body)
  `(aif (assoc ',name *expanders*)
     (setf (cdr it) '(,arglist ,@body))
     (push '(,name ,arglist ,@body) *expanders*)))
```

Un compilateur extensible

```
(defprescript moveto (x y)
  (with-transformed-point (x y p)
    (setf position p)
    (setf path (initialize-path path p))))

(defmacro modify-transformation (arg)
  `(setf transformation
         (compose-transformations
          transformation
          ,arg)))
```

Un compilateur extensible

```
(defprescript scale (sx sy)
  (modify-transformation (make-scaling-transformation sx sy)))

(defprescript translate (tx ty)
  (modify-transformation (make-translation-transformation tx ty)))

(defprescript rotate (angle)
  (modify-transformation (make-rotation-transformation angle)))
```

Un compilateur extensible

```
(defprescript newpath ()
  (setf path (new-path)))

(defprescript lineto (x y)
  (with-transformed-point (x y p)
    (setf path (add-element path (make-lineseg p)))
    (setf position p)))

(defprescript stroke ()
  (stroke-path path))
```

Un compilateur extensible

```
(defmacro prescript (&body body)
  (let ((envstack (gensym)))
    `(let ((,envstack (list (make-initial-env))))
      (labels ,(mapcar #'(lambda (expander)
                           (let ((name (car expander))
                                 (arglist (cadr expander))
                                 (body (cddr expander)))
                             `(,name ,arglist
                               (with-current-env ,envstack
                                 ,@body))))
                       *expanders*)
        (macrolet ((gsave (&body body)
                     ...))
          ,@body
          (values))))))
```