





**Université de Montréal**

**Diffusion de module compilé pour le langage distribué  
Termite Scheme**

par

**Frédéric Hamel**

Département d'informatique et Recherche Opérationnel  
Faculté des arts et des sciences

Mémoire présenté à la Faculté des études supérieures et postdoctorales  
en vue de l'obtention du grade de  
Maître ès sciences (M.Sc.)  
en Informatique

décembre 2019



# Sommaire

---

Le présent mémoire décrit un système de module qui améliore la migration de code dans le langage distribué Termit. Ce système de module à la possibilité d'être utilisé dans les applications non – distribués ou distribué. Ce système de module à pour but de faciliter une conception des programmes dans une structure modulaire et faciliter la migration de code entre des nœuds d'un système distribué. Le système de module est conçu pour Gambit, un compilateur interprète de Scheme.

Le modèle de module utilisé permet d'identifier les modules de façon unique dans un contexte distribué. La facilité d'utilisation et la portabilité ont été des facteurs considérés dans la conception du système de module.

Le mémoire décrit la structure des modules Scheme, son implémentation dans Gambit et son application. La capacité du système de module sont démontrées par des exemples.

**Mots clés :** Langage de Programmation fonctionnel, Scheme, Erlang, Système de module, Système distribué, Agent mobile.



# Summary

---

This thesis present a module system for Gambit Scheme that allows distributed computing. This module system ease the application modularity and ease code migration between node of a distributed system. Termite Scheme is used to implement the distributed applications.

This module system uses a naming model for the module so they can be uniquely identify in a distributed context. Both ease to use and portability were taken into account in the system module design.

The thesis will describe the Scheme module structure and how it was implemented into Gambit. The capacity of this system is shown with application example.

**Keywords:** Functional programming, Scheme, Erlang, Module System, Distributed System, Mobile Agent.





# Table des matières

---

<b>Sommaire</b> .....	iii
<b>Summary</b> .....	v
<b>Liste des tableaux</b> .....	xi
<b>Table des figures</b> .....	xiii
<b>Remerciements</b> .....	1
<b>Chapitre 1. Modularisation des systèmes distribués</b> .....	3
1.1. Systèmes distribués .....	4
1.2. Modules versionnés .....	5
<b>Chapitre 2. Bibliothèque Scheme</b> .....	7
2.1. Procédure et Macro .....	8
2.2. Structure des bibliothèques .....	9
<b>Chapitre 3. Modules systèmes</b> .....	15
3.1. Édition de liens dynamique .....	15
3.1.1. Coexistence entre bibliothèque .....	19
3.2. Conditions entre des versions des bibliothèques .....	21
3.2.1. Bibliothèque C .....	22
3.2.2. Bibliothèque Scheme avec FFI .....	27
3.2.3. Bibliothèque Javascript (NodeJS) .....	29
3.2.4. Variables globales communs .....	31

<b>Chapitre 4. Implémentation des modules</b>	33
4.1. La forme <code>##namespace</code>	33
4.2. La forme <code>##demand-module</code> et <code>##supply-module</code>	35
4.2.1. Les Méta Informations	36
4.3. Implémentation des modules primitifs	36
4.3.1. La forme <code>##import</code>	37
4.4. Implémentation des modules R7RS	38
4.4.1. Expansion du <code>import</code>	38
4.4.1.1. Importation d'un module primitif	38
4.4.1.2. Importation d'un module R7RS	39
4.4.2. Expansion du <code>define-library</code>	40
4.4.2.1. Extensions de Gambit	42
<b>Chapitre 5. Modèle de chargement</b>	43
5.1. Chargement des bibliothèques	43
5.2. Modèle statique	44
5.3. Modèle dynamique	44
5.3.1. Module compilé dans Gambit	46
5.4. Module hébergé	47
5.4.1. Installation automatique	47
<b>Chapitre 6. Gestion des modules</b>	49
6.1. Organisation des modules	49
6.1.1. Installation de module	50
6.2. Désinstallation	51
6.3. Mise à jour	52

6.4. Tests unitaires .....	52
6.5. Compilation d'un module .....	52
6.6. Comparaison avec d'autre système .....	53
6.6.1. Organisation de OCaml .....	54
6.6.2. Organisation de Python .....	54
6.6.3. Organisation de NodeJS .....	55
6.6.4. Organisation de Java .....	56
6.6.5. Organisation de Go .....	56
<b>Chapitre 7. Migration de code .....</b>	<b>59</b>
7.1. Le langage Termite .....	60
7.2. <i>Hook</i> des procédures inconnues .....	61
7.3. Exemple de migration de code .....	61
<b>Chapitre 8. Évaluation .....</b>	<b>67</b>
8.1. Spécification des machines .....	67
8.2. Résultats .....	67
<b>Bibliographie .....</b>	<b>73</b>



## Liste des tableaux

---

- 2.1 Voici un exemple qui montre une comparaison entre une syntaxe préfixe et infixe. 8



## Table des figures

---

2.1	Implémentation de la macro <code>include</code> qui permet l'inclusion d'un fichier dans un autre fichier avec la syntax <code>define-macro</code> .....	9
2.2	Implémentation de la macro <code>include</code> qui permet l'inclusion d'un fichier dans un autre fichier avec la syntaxe <code>define-syntax</code> . Cette macro effectue la même action que celle définit dans la figure 2.1. ....	10
2.3	Le fichier <code>fact.scm</code> est un exemple de module R4RS exposant la fonction mathématique <code>fact</code> . Le fichier <code>main.scm</code> est un programme principal qui utilise le module <code>fact.scm</code> .....	11
2.4	Comparaison entre la syntaxe des modules R6RS et R7RS .....	14
3.1	Chargement dynamique de la bibliothèque <code>libFoo.so</code> et résolution de la fonction <code>foo</code> sans gestion d'erreur sous Linux.....	16
3.2	Code d'importation de la fonction <code>foo</code> de la bibliothèque <code>libFoo.so</code> en Ruby .....	17
3.3	Un exemple de dépendance de bibliothèques au sein d'un application simple fictive. La bibliothèque <code>libA.so</code> est chargé dans l'application <code>main</code> via les appels au procédure <code>dlopen</code> et <code>dlsym</code> . Les fonctionnalités utilisés dans l'exemple sont marqué dans des ellipses. ....	18
3.4	Exemple de dépendance dans un application cause le masquage de la fonctionnalité <code>foo</code> de la bibliothèque <code>libfoo.so.1.0</code> par la bibliothèque <code>libfoo.so.1.1</code> .....	19
3.5	Un exemple d'application de conversion entre deux version d'un format de fichier comme <code>sqlite2</code> et <code>sqlite3</code> exploitant la possibilité de charger plusieurs version d'une bibliothèque.....	20

3.6	Création d'un exécutable lié aux deux bibliothèques SDL et SDL2 dans cette ordre.....	23
3.7	Programme qui utilise la bibliothèque SDL1.2 sans la gestion des évènements Cette application génère une fenêtre rouge qui se ferme après 1 seconde de délais.	25
3.8	Programme qui utilise la bibliothèque SDL2 sans la gestion des évènements. Cette application génère fenêtre verte qui se ferme aussi après 1 seconde de délais.....	26
3.9	Création des bibliothèques <i>rsa.scm</i> pour OpenSSL1.0 et OpenSSL1.1 sans la spécification de <i>libcrypto.so</i> .....	28
3.10	Création des bibliothèques <i>rsa.scm</i> pour OpenSSL1.0 et OpenSSL1.1 avec la spécification de <i>libcrypto.so</i> .....	28
3.11	Schéma des dépendances entre les bibliothèques au sein d'un processus. Les dépendances qui ont été lié dynamiquement lors la création de l'application sont représenté par une flèche avec trait plein sans annotation. Ceux qui représente les chargement de bibliothèque dynamique via <b>dlopen</b> ont l'annotation <i>dl</i> . La flèche en pointillé indique un masquage des symboles de la bibliothèque source par celle pointée.....	29
5.1	Un exemple qui montre la collection des modules à partir du module <b>_zlib</b> suivit de l'initialisation des modules collectés. La collection des modules est effectuée par la procédure <b>##collect-module</b> . L'ensemble des modules retournés sont initialisés par la procédure <b>##init-modules</b> . Les enregistrements des modules <b>_zlib</b> et <b>_digest</b> sont montrer par la variable <b>##registered-modules</b> .....	45
5.2	Un exemple d'un système fictif composé de différents modules. Le module principale se nomme <b>main.scm</b> avec l'extension <b>.scm</b> et les bibliothèques ont l'extension <b>.sld</b> .....	46
5.3	Un module qui implémente la fonction mathématique <b>fib</b> .....	46
5.4	L'exemple montre le résultat d'une réponse négative lors de l'installation du module qui n'est pas dans la <i>whitelist</i> . Il ne se fait pas installé.....	48



6.1	Une table qui compare différent système de module sur la capacité d'installer plusieurs version d'un module. Le système Go permet plusieurs version d'un module pour des version incompatible selon le sémantique de version. La version 1.0.0 coexiste avec la version 2.0.0. La version récent 1.2.0 remplace la vieille version 1.0.1.....	54
6.2	L'ensemble des répertoires qui est utilisé par Python version 3.7 pour organiser les bibliothèques sur un système de type Linux. ....	55
6.3	Un exemple qui montre l'importation de deux version d'un même module en Go. Le module <b>go-hello</b> version 2 exporte la fonction <b>Salut</b> qui n'existe pas dans la version 1.....	57
7.1	Le code du serveur qui configure la <i>hook</i> qui résout les références à procédures inconnues. C'est effectué avec la procédure <b>##unknown-procedure-handler-set!</b> . ....	62
7.2	C'est le code de la boucle principal de l'horloge programmable.....	63
7.3	Configuration des nœuds qui est utilisé sur les clients.....	64
7.4	Un programme qui change le fuseau horaire utilise par l'horloge. ....	64
7.5	Un exemple de mise à jour du code du serveur en par le message <b>update-code</b> . .	65
8.1	La spécification de la machine arctic qui est utilisé comme nœud de destination dans l'ensemble des tests. Cette machine, nommé <b>Arctic</b> est refroidit au liquide.	68
8.2	La spécification du CPU du Raspberry Pi utilisé dans les tests. Cette machine se nomme <b>tictoc</b> . ....	69
8.3	Ce sont les temps d'exécution et transmission de module de différente taille entre les machines Gambit et Arctic. Les modules sont installés automatiquement sur Arctic lors de l'exécution.....	70
8.4	Ce sont les temps d'exécution et de transmission de module de différente taille entre Gambit et Arctic dans le cas ou les modules sont présents sur chaque nœud.	70

8.5	Cette expérience est le même que 8.3, sauf que le transfert de module est fait entre un machine ARM (tictoc) et x86 (arctic).....	70
8.6	Cette expérience est le même que 8.4, sauf que le transfert de module est fait entre un système ARM (tictoc) et x86 (arctic).....	71
8.7	Ce test est dans identique à 8.5 avec un réseau de 10 <i>Mbit/s</i> .....	71
8.8	Cette expérience permet de comparer la performance RPC de Termite avant les modules dans un contexte interprété.....	71

# Remerciements

---

remerciements



# Chapitre 1

---

## Modularisation des systèmes distribués

Les programmes modernes ont une structure *modulaire*, c'est-à-dire que leur code se décompose logiquement en différentes parties relativement indépendantes, les *modules*. Cette structure a de nombreux avantages, entre autres sur le plan du développement et de la maintenance. La structure d'un programme en vue de son *déploiement* – c'est-à-dire comment son code exécutable est stocké sur disque, chargé en mémoire, etc. – peut prendre plusieurs formes.

Un programme sous forme *monolithique* contient dans son code exécutable toutes les instructions exécutées par l'ordinateur. Cette forme était la norme dans les premiers systèmes informatiques, et l'est toujours pour les systèmes embarqués qui n'ont pas de système d'exploitation indépendant. Lorsqu'un système d'exploitation est disponible sur l'ordinateur on peut le considérer comme étant un module puisqu'il offre des services précis avec une interface standardisée. Dans ce cas, un programme peut prendre la forme d'un seul fichier de code qui, à son exécution, communiquera avec le système d'exploitation pour accéder à ses services. Ce genre de fichier exécutable est obtenu par une *édition de liens statique* qui combine en un seul fichier tous les modules (à l'exception du système d'exploitation). Par rapport à la forme monolithique, cette organisation simplifie le développement car le programmeur n'a pas à se soucier du développement des services de base comme l'accès aux fichiers, la gestion des processus et de la mémoire, etc. Le programme peut être distribué à d'autres ordinateurs ayant le même système d'exploitation simplement en y transférant le fichier exécutable.

L'édition de lien statique a un certain nombre de défauts. La version des modules utilisé au moment de l'édition de liens est figée au sein du programme, ce qui empêche la mise à

jour individuelle des modules. Il faut recompiler tous les modules qui ont subi une mise à jour et refaire l'édition de liens du programme principal. Le coût en temps et l'effort pour un changement minime est important. Le chapitre 5 va détailler plus en profondeur ces problèmes.

L'édition de liens peut se faire paresseusement par le système d'exploitation à l'exécution du programme, ce qu'on appelle l'*édition de liens dynamique*. Cela permet de garder la structure modulaire au *déploiement*. Chaque module est une composante séparée du programme principal. Ces modules sont lus du disque et chargés en mémoire durant l'exécution du programme. Ce chargement est effectué par *éditeur de liens dynamique* qui s'occupe de lier les fonctionnalités des modules au programme principal. Le chapitre 3 explique plus en profondeur le fonctionnement de l'éditeur de liens dynamique. L'avantage principal du chargement dynamique de module est la mise à jour individuelle d'un module sans avoir à lier le programme principal; dans le modèle statique le programme principal doit être lié à nouveau avec les modules. Les modules chargés dynamiquement par le système d'exploitation peuvent être partagés entre différents programmes. Ce type de module porte le nom de *bibliothèque partagée* ils sont décrits dans le chapitre 3.

## 1.1. Systèmes distribués

Un programme distribué est séparé sur plusieurs systèmes. Dans un système distribué, il est possible de transmettre des tâches entre les différents systèmes. C'est ce qu'on appelle, *migration de tâche*. Un exemple de migration de tâche est l'invocation de `ssh` qui permet d'exécuter un processus sur un système distant. Le problème de cette approche est que le programme doit exister sur la machine distante et que chaque invocation passe par une authentification. Des mécanismes de migration de code ont été implémentés dans différents langages comme Erlang [16], Java [4], Scheme [20], Javascript [15], .... La plupart des méthodes de migration de code requièrent que l'ensemble des procédures soient présentes sur le système distant.

Le système Java [4] capture l'état du programme courant qui consiste aux valeurs et aux types de toutes les variables de chaque objet. L'autre information est la pile des appels de méthode avec les valeurs de toutes les variables. Ces informations sont transmises et utilisées pour reconstruire l'état du programme. L'ensemble des méthodes sur le nœud de départ est

présent sur le nœud d'arrivée. Le système Erlang [16] requière aussi que le code soit disponible sur le nœud destination.

Le système de migration en Javascript utilise des dépôts de code pour conserver le code. Il est basé sur le fait que le code des agents sont connus par des nœuds spécialisés. Puisque le code des agents est connu, il suffit de transmettre l'état de l'agent. Ce modèle Javascript ressemble à celui implémenté dans Gambit lors de la transmission de procédure compilé.

La migration de de code ne devrait pas être limité par le code sur le nœud distant. Le système de module offre la possibilité de migrer un agent sur un nœud qui ne connaît pas le code de l'agent. Un exemple concret de migration de code est présenté dans le chapitre 7. Le problème est la migration de code sur un nœud qui ne connaît pas le code de l'agent qui est migrer.

## 1.2. Modules versionnés

Un programme est généralement composé de plusieurs modules. Chaque module est associé à une seule version. La façon qu'un système voit les versions d'un module diffère entre les langages. Il est possible de voir chaque version d'un module comme un module différent, c'est ce qui est utilisé dans Go. Dans les système comme Python et Java les modules sont vus par le programme par seulement un nom qui n'inclut pas la version.

Dans les système qui considère chaque version d'un module comme un module différent, il existe des programmes qui chargent plusieurs versions d'un module. Cela peut amener certains problèmes de conflit entre les versions du module. Ces conflits peuvent être observer dans les langages interprété comme Javascript ou dans les langages compilé comme C/C++. Les conflits peuvent être dans les noms des fonctions du module ou dans des variables globales partagés entre plusieurs versions du module. Le chapitre 3 traite des différent cas de conflit avec des exemple dans plusieurs langages programmations.





# Chapitre 2

---

## Bibliothèque Scheme

Le langage Scheme[6] à été conçu en 1975 par Guy L. Steele et Gerald Jay Sussman. C'est un langage de programmation avec un système de type dynamique, cela signifie que les variables peuvent contenir n'importe quels types. Il supporte plusieurs paradigmes de programmation comme fonctionnelle, impérative et méta. Chaque expression est représenté sous forme préfixé et fortement parenthésé. Un programme Scheme est une séquence de liste parenthésé en forme préfixé, ce sont des *s-expressions*. Chaque *s-expression* correspond soit à une constante, une application de procédure ou une application de macro. Les macros sont lié au paradigme de méta programmation qui manipulent les expressions.

Les formes de base usuelles en Scheme sont **define**, **lambda**, **let**, **if** and **set!**.

- La forme (**define** *<name>* *<val>*) associe le nom *<name>* avec la valeur *<val>*. Il est utilisé pour définir des variables globales.
- La forme (**lambda** *<args>* *<body>*) permet la définition de procédures anonymes. Les arguments sont *<args>* et le corps de procédure *<body>*.
- La forme (**let** *<bindings>* *<body>*) permet de créer des associations (*<bindings>*) visible seulement dans le contexte de *<body>*. Les associations sont sous la forme d'une liste associative nom et valeur.
- Les conditions sont géré par la forme (**if** *<e1>* *<e2>* *<e3>*). La branche *<e1>* est exécutée si la condition *<e2>* est vrai sinon *<e3>*.
- La forme (**set!** *<name>* *<val>*) modifie le contenu de la variable *<name>* avec la valeur *<val>*.

La méta programmation est un paradigme lié à l'utilisation de macro qui sont des entités qui manipulent la structure du programme. Elle est utilisé pour ajouter des abréviations dans

le langage qui simplifie l'écriture du code. La section 2.1 détaille de la méta programmation en Scheme.

Les expressions Scheme sont en forme préfixe. Cela signifie que l'opération précède les opérandes. Cette forme est plus utilisé dans les langage de la famille LISP.

Préfixe	Infixe
(+ 1 2)	1 + 2;

**TABLE 2.1.** Voici un exemple qui montre une comparaison entre une syntaxe préfixe et infixe.

Les différents types que les valeurs peuvent prendre sont Les types de donnée disponible en Scheme sont `boolean`, `pair`, `symbol`, `number`, `char`, `string`, `vector`, `port` et `procedure`.

## 2.1. Procédure et Macro

Les procédures sont des objets de premier classe, cela signifie qu'elles peuvent être manipulée comme n'importe quels types de donnée. Elles peuvent être passées en tant que paramètre à une procédure et retourné en tant que résultat. Certaines fonctions – telles que `map`, `fold`, etc. – bénéficie que les procédures sont des objets de premier classe.

Les procédures et les fonctions sont définis par le constructeur `lambda` qui prend une liste d'arguments et une séquence d'au moins une *s-expression* comme corps. Lors de l'application d'une procédure chacun des arguments est évalué puis passés à la procédure. C'est un mode de passage de paramètre par valeur. Il n'y a de forme spéciale pour les boucle, car elle peuvent construite par la récursion. Le langage offre une récursion sans coût avec l'appel terminal. Il est possible d'ajouté une syntaxe pour les boucle en utilisant la méta programmation.

La programmation méta est présente dans plusieurs langage comme C, C++, LISP, Haskell, Scheme, etc. Elle est basé sur la capacité d'un programme de manipuler d'autre programme comme des données. Cela implique qu'il est possible de générer, analyser et modifier le code d'un autre programme. Les constructions utilisées pour manipuler le code du programme et ajouter des extensions au langage sont les macros.

En C et C++, les macros ne permettent pas de récursion se référant à elle-même. Ils sont basés sur un modèle de remplacement textuel simple. Un appel à la macro est remplacer

par le corps de celle-ci. Les macros de style LISP ont accès à l'ensemble des procédures, ce qui leur donne plus de flexibilité. La différence entre les procédures et les macros est le mode de passage de paramètres. Les paramètres sont passés à la macro sans être évalués, c'est ce qu'on appelle le passage par nom. Certain Scheme offre la forme `define-macro` pour définir les macros. Cette forme est équivalente au `defmacro` de LISP. Elle accepte en entrée des *s-expressions* et retourne une *s-expression* (soit une liste ou une constante). Cette forme spéciale a un problème d'hygiène.

```
(define-macro (include filename)
  (call-with-input-file
    filename
    (lambda (port)
      '(begin
        ,@(read-all port))))))
```

**FIGURE 2.1.** Implémentation de la macro `include` qui permet l'inclusion d'un fichier dans un autre fichier avec la syntax `define-macro`.

Un exemple qui montre les capacités des macros Scheme est la macro `include`. Cette macro permet l'inclusion du contenu d'un fichier au point d'application. Pour inclure un fichier dans un autre, il faut tout d'abord lire le contenu du fichier à inclure. Ensuite, il suffit de retourner le code lu. La figure 2.1 montre une implémentation de cette macro avec `define-macro`. Pour les implémentations de Scheme ne supportant pas la forme `define-macro`, il est possible d'implémenter la forme `include` avec `define-syntax` qui est l'alternative à `define-macro`. L'implémentation de cette macro est donnée à la figure 2.2. Les particularités de `define-syntax` ne sont pas mentionnées dans ce mémoire.

## 2.2. Structure des bibliothèques

Les bibliothèques, aussi appelées modules, facilitent le partage de fonctionnalités entre plusieurs programmes. Dans le standard R4RS[5] et R5RS[14] les modules consistent en des fichiers Scheme qui contiennent des définitions de procédures et de macros. Ils sont chargés dans le module courant par la procédure `load`. Certaines implémentations de Scheme ont la

```

(define-syntax include
  (lambda (stx)
    (define (read-all port)
      (let loop ((rev-lst '()))
        (let ((expr (read port)))
          (if (eof-object? expr)
              (reverse rev-lst)
              (loop (cons expr rev-lst))))))
    (syntax-case stx ()
      ((_ fn)
       (let ((filename (syntax->datum (syntax fn))))
         (let ((content
                  (call-with-input-file
                     filename
                     (lambda (port)
                       (cons 'begin (read-all port))))))
           (datum->syntax stx content)))))))

```

**FIGURE 2.2.** Implémentation de la macro `include` qui permet l’inclusion d’un fichier dans un autre fichier avec la syntaxe `define-syntax`. Cette macro effectue la même action que celle définit dans la figure 2.1.

forme spéciale `include` qui permet de séparer un module Scheme en plusieurs parties. Cette forme peut s’ajouter facilement au langage (voir la figure 2.2). Le modèle de bibliothèque de la 4e et 5e révision de Scheme possède plusieurs lacunes.

- Ce modèle de chargement n’est pas à l’abri des chargements multiples d’un module qui mène soit à de la duplication de code (dans le cas de `include`) ou à de la réévaluation d’un code (dans le cas de `load`).
- Toutes les déclarations dans un module sont ajoutés à l’environnement global lors du chargement par `load`. Cela mène à des conflits de nom entre les identifiants du module principal et des modules importés.

- L'importation d'un module par `load` ou `include` nécessite la connaissance de son emplacement dans le système de fichier. L'emplacement spécifier est soit relatif ou absolu.

Le chargement d'un module dans Gambit Scheme par `load` se fait en plusieurs phases : l'analyse lexicale, l'analyse syntaxique, l'expansion de macro et l'évaluation. L'analyse lexicale brise l'expression en mots. La séquence de mots est associée à un contexte par l'analyse syntaxique dans laquelle il y a aussi une expansion des macros. Le `include` d'un fichier n'effectue qu'une analyse lexicale qui est effectuée par la procédure `read`. L'évaluation est effectuée après l'analyse syntaxique et l'expansion des macros. D'autres systèmes Scheme permettent le chargement des macros par `load`.

Dans un module, il y a du code qui est exécuté lors de l'expansion (les macros) et à l'évaluation. La procédure `load` donne accès au code défini dans le module, mais pas aux macros, car elles sont expansées. Après un `load`, il ne reste que les procédures et variables globales qui résultent de l'expansion des macros. Pour avoir accès aux macros, il faut utiliser la forme spéciale `include` qui est expansé par le contenu du fichier. L'expression `(include "foo#.scm")` est remplacé par le contenu du fichier `foo#.scm`. L'exemple 2.3 montre un exemple de module simple n'utilisant que `load`.

<pre>;; fact.scm (define (fact n)   (if (&lt; n 2)       n       (* n (fact (- n 1)))))</pre>	<pre>;; main.scm (load "fact.scm") (display (fact 5))</pre>
---	---

**FIGURE 2.3.** Le fichier `fact.scm` est un exemple de module R4RS exposant la fonction mathématique `fact`. Le fichier `main.scm` est un programme principal qui utilise le module `fact.scm`.

Le standard R6RS[19] renforce le concept de modules avec la syntaxe `library`. Un module R6RS est séparé en 4 parties : le nom, une sous forme `export`, une sous forme `import` et le corps du module. Le nom du module l'identifie de façon unique, il peut contenir une spécification de version. La version est spécifiée par une liste d'entiers positifs. Une liste vide ()

est l'équivalent de ne pas spécifier la version. Ensuite, il y a la liste des exportation spécifier par la sous forme **export**. Chaque élément de cette liste est soit un identifiant ou un une sous forme **rename** qui renomme l'identifiant exporté. Le **import**, donne la liste des dépendances du module. Chaque dépendance spécifie :

- le nom du module importé et de façon optionnelle une contrainte sur la version ;
- le niveau d'import (temps d'expansion ou évaluation) ;
- un sous ensemble du **export** du module et le nom local utilisé au sein du module courant pour chaque exportation du module.

Le corps du module contient une séquence de définitions suivit par une séquence d'expressions. Une définition peut être soit local ou exportée. Les expressions initialisent le module lors de l'exécution. Le R6RS ajoute aussi la forme **import** pour l'importation d'un module et enlève la procédure **load**. Contrairement au **load**, la forme **import** empêche le chargement multiple d'un module. La syntaxe du **import** permet de manipuler les noms des symboles importés et exportés.

```
(library <library name>
  (export <export spec> ...)
  (import <import spec> ...)
  <library body>)
```

**Listing 2.1.** Structure globale d'un module  
R6RS

La forme **import** de R6RS permet l'importation d'un ensemble de module. Chaque spécification d'import **<import spec>** peut être soit une simple importation ou un importation avec un niveau. Le niveau d'importation est soit : **run**, **expand** ou (**meta <level>**). Le niveau méta donné par **<level>** est un entier exacte. Un niveau d'importation 0 correspond à **run** et un niveau d'importation de 1 correspond **expand**.

La syntaxe pour l'importation avec les niveau méta est décrit dans la spécification R6RS [19]. Le **import** R6RS permet un grand contrôle lors de l'importation des modules au prix d'une sémantique plus complexe.

Les déclarations d'un module R6RS sont dans espace distinct de l'espace global et des autres modules. Les déclarations d'un module ne peuvent pas être en conflit avec des déclaration global ou d'autre module. L'élément qui distingue deux module est son nom avec sa version. Le nom du module correspond à l'espace de nom du module. C'est ce qui lie les déclarations au module et empêche les conflits de nom entre les modules.

Le standard R7RS[18] simplifie la syntaxe des modules R6RS[19]. L'importation d'un module fait abstraction du niveau d'importation. Les macros et les procédures sont importés de façon transparente. La procédure `load` est conservée. La forme spéciale pour définir un module est `define-library`. Il n'y a pas d'ordre spécifique dans les déclarations de la bibliothèque comme en R6RS. Un module R7RS commence par un nom suivi de plusieurs déclarations.

```
(define-library <library name>
  <library declaration>*)
```

**Listing 2.2.** Structure globale d'un module  
R7RS

Une déclaration dans un module est soit un `import`, un `export`, un `include`, un `include-ci`, un `cond-expand` ou un bloque `begin`.

- La déclaration `import` est équivalent au R6RS sans le concept de niveau d'importation.
- La déclaration `export` est idem au R6RS.
- Les déclarations `include` et `include-ci` permettent l'inclusion d'un fichier en tant qu'un bloque de code. La seconde version non sensible à la casse des caractères.
- La déclaration `cond-expand` est un extension du SRFI-0 dans le contexte d'une bibliothèque.

La forme `import` en R7RS permet d'importer un ensemble d'identifiants qui sont exporté par un module. Chaque ensemble importé spécifie le nom des identifiants du module et parfois même associe un nom local aux identifiants. Le `import` peut prendre l'une des formes suivante :

- `<library-name>`
- `(only <import-set> <id1> ...)`
- `(except <import-set> <id1> ...)`

- (prefix <import-set> <id>)
- (rename <import-set> (<id1> <id2>) ...)

Dans la première forme importe tous les identifiants exportés par la bibliothèque <library-name>. Les autres types de <import-set> modifient l'ensemble comme suit :

- **only** inclut seulement les identifiants spécifiés. C'est une erreur d'importer un identifiant non exporté par la bibliothèque.
- **except** permet d'exclure des identifiants de l'ensemble.
- **rename** renomme les identifiants importés.
- **prefix** ajoute un préfixe à l'ensemble des identifiants importés.

<pre>;; Library R6RS (library (math)   (export fact)   (import (rnrs base))   (define (fact n)     (if (&lt; n 2)         1         (* n (fact (- n 1))))))</pre>	<pre>;; Library R7RS (define-library (math)   (export fact)   (import (scheme base))   (begin     (define (fact n)       (if (&lt; n 2)           1           (* n (fact (- n 1))))))</pre>
---	---

**FIGURE 2.4.** Comparaison entre la syntaxe des modules R6RS et R7RS



# Chapitre 3

---

## Modules systèmes

Les bibliothèques au sein de systèmes de modules ont plusieurs formes. Ils peuvent être dans le langage source ou compilé dans un format natif. Le format de bibliothèque étudié dans ce chapitre est le format natif du système d'exploitation. Plus précisément, les bibliothèques dynamiques et leurs interactions au sein d'un programme. Les formats des fichiers utilisés pour les bibliothèques varient entre les différents systèmes d'exploitation. Le système d'exploitation Linux utilise le format ELF (*Extensible Linking Format*), Microsoft Window utilise le format PE (*Portable Executable*) et MacOSX utilise le format Mach-O (*Mach object*) pour les exécutables et les bibliothèques. L'utilisation d'une bibliothèque dynamique ce fait par l'édition de liens durant l'exécution d'un programme.

### 3.1. Édition de liens dynamique

Une application qui utilise une bibliothèque partagés ne contient pas le code de la bibliothèque, mais plutôt le nom des fonctionnalités utilisés. La routine qui récupère la fonctionnalité à partir du nom est la résolution qui est effectué par le *dynamic loader*. Lorsqu'un programme lié dynamiquement à plusieurs bibliothèques partagés exécute invoque une procédure externe, la routine de résolution est démarrée pour résoudre le code de cette procédure.

Par exemple, sous Linux l'utilitaire «yes», qui est écrit en C, est lié aux bibliothèques systèmes suivantes :

```
linux-vdso.so.1 (0x00007ffef7f9000)
libc.so.6 => /usr/lib/libc.so.6 (0x00007ff68161c000)
/lib64/ld-linux-x86-64.so.2 => ...
```

La bibliothèque *libc.so.6* contient la plupart des fonctions standards du système sous Linux. Le chargement des bibliothèques s'effectue au début de l'application, avant l'exécution de la fonction principale souvent nommé **main**. Plusieurs bibliothèques peuvent coexister simultanément au sein d'un même processus sans que l'exécution du programme en soit affecté.

La résolution des fonctionnalités de ces bibliothèques sont effectué par un programme adapté le *program interpreter* du système qui correspond à */lib64/ld-linux-x86-64.so.2*. Il est possible de forcer la résolution d'une fonctionnalité d'une bibliothèque de façon manuel. Ce genre d'interaction est possible sur les trois principales plateformes utilisées sur le marché (Windows, MacOSX et Linux).

Sur Linux, l'API qui permet d'interagir avec les bibliothèques partagés provient de *libdl.so*. Elle contient les fonctions *dlopen*, *dlsym*, *dLError* et *dlclose* pour gérer des bibliothèques de code supplémentaire chargé manuellement à l'exécution. Pour charger la fonction *foo*, qui ne prend pas d'argument et ne retourne rien de la bibliothèque *libFoo.so* en C, il faut exécuter les deux appels suivant :

```
...  
void *handle = dlopen("./libFoo.so", RTLD_LAZY);  
void (*foo)() = dlsym(handle, "foo");  
...
```

**FIGURE 3.1.** Chargement dynamique de la bibliothèque *libFoo.so* et résolution de la fonction *foo* sans gestion d'erreur sous Linux

L'équivalent des bibliothèques partagés sous Window sont les DLLs, ils peuvent être chargé de façon similaire dans un programme en utilisant les fonctions *LoadLibrary*, *LoadLibraryEx* et *GetProcAddress*. Ils fonctionne de la même façon que leur équivalent Linux. Pour MacOSX, il faut passer par les routines :

- *NSCreateObjectFileImageFromFile*
- *NSLinkModule*
- *NSLookupSymbolInModule*
- *NSAddressOfSymbol*

La majorité des langages interprétés permettent l'importation de bibliothèque de code native, via un interface nommé *foreign function interface*. Cette interface offre une couche d'abstraction de ces procédures. Prenons comme exemple les langage Python, Ruby, Lua et Scheme. Python possède le module **ctypes** qui permet de chargé des bibliothèques natives dynamique, Ruby possède le module **ffi**.

Certains langages ont même un mécanisme pour charger des bibliothèques natives s'ils ont été conçus spécialement. Dans le langage de programmation Lua, il est possible en Lua de chargé directement une bibliothèque dynamique si elle contient une fonction principale **luaopen\_*libname*** où *libname* est le nom de la bibliothèque.

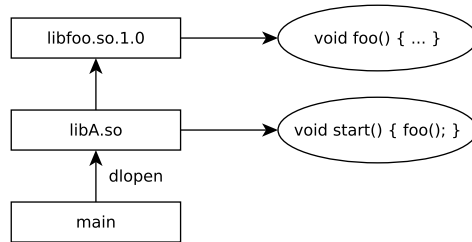
Gambit Scheme utilise un mécanisme équivalent. Il permet le chargement de ces modules qui ont été compilé en bibliothèque partagé (DLL) avec la fonction (**load** "*libname*"). Le chargements de la bibliothèque ressemble à celui de Lua.

```
require 'ffi'
# Chargement d'une bibliotheque native.
module LibFoo
  extend FFI::Library
  ffi_lib './libFoo.so'
  attach_function :foo, [], :void
end
# Appel de la fonction foo.
LibFoo.foo
```

**FIGURE 3.2.** Code d'importation de la fonction **foo** de la bibliothèque *libFoo.so* en Ruby

La résolution des fonctionnalités effectué par le *dynamic linker* utilise un ordre de recherche définit. Cet ordre de recherche inclut l'exécutable courant, les dépendances de l'exécutable, la bibliothèque passé à *dlsym*. Une résolution d'une fonctionnalité est soit directe ou indirecte. La résolution d'une fonctionnalité par *dlsym* qui n'engendre pas la résolution d'un autre fonctionnalité externe est directe. Une résolution directe n'utilise pas le programme principal dans l'ordre de recherche. Les résolution de fonctionnalité provenant

d'appels indirecte au *dynamic linker* inclut le programme principal et ses dépendances avant la bibliothèque passé à `dlsym`.

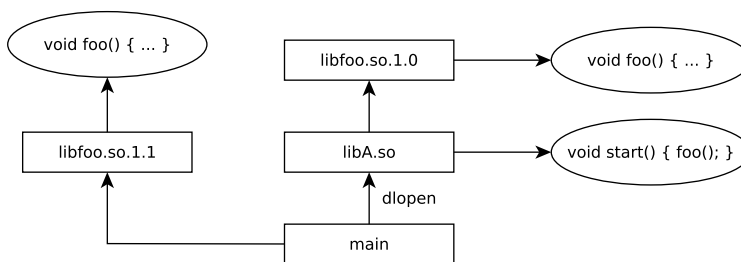


**FIGURE 3.3.** Un exemple de dépendance de bibliothèques au sein d’une application simple fictive. La bibliothèque *libA.so* est chargé dans l’application `main` via les appels au procédure *dlopen* et *dlsym*. Les fonctionnalités utilisés dans l’exemple sont marqué dans des ellipses.

Dans la situation présentée dans la figure-3.3, quels sont les étapes inclus dans l’exécution de ce programme qui invoque la fonctionnalité `start` de la bibliothèque *libA.so*. La fonctionnalité externe `start` est résolu de façon direct par un appel à `dlsym(libA, "start")`, qui commence la recherche de la procédure `start` dans la bibliothèque spécifier dans `dlsym`. Le programme l’invoque une fois la procédure trouvée. L’appel à une procédure non résolue (e.g. la procédure `foo` invoqué dans `start`) déclenche une procédure automatique de résolution des fonctionnalités. Cette procédure de résolution commence sa recherche à partir de l’exécutable, puis itère la liste des dépendances directe. Si la fonctionnalité n’est pas encore trouvé, la recherche continuera à partir de la bibliothèque passé à `dlsym`.

Il est facile d’exploiter l’ordre de recherche du *dynamic linker* pour causer un masquage de fonctionnalité dans un application. Ce masquage est utilisé dans certain contexte pour déboguer un programme, mais il peut aussi nuire à l’exécution du programme. Il y au moins deux structures de programme qui cause un masquage. L’application principale est construit comme une bibliothèque dynamique exécutable et fournit une fonctionnalité qui porte le même nom qu’une fonctionnalité exporté par une bibliothèque externe chargé manuellement. L’application principale est lié avec une bibliothèque qui exporte une fonctionnalité qui porte le même nom que celle utilisée dans la bibliothèque externe.

La figure-3.4 est un exemple de masquage qui utilise la seconde méthode. La première méthode requière des bibliothèques exécutables qui n'est pas disponible sur toutes les plateformes. Sous Linux, il est possible de créer une bibliothèque exécutable en passant le paramètre `-rdynamic` à `gcc` lors de la construction.



**FIGURE 3.4.** Exemple de dépendance dans un application cause le masquage de la fonctionnalité `foo` de la bibliothèque `libfoo.so.1.0` par la bibliothèque `libfoo.so.1.1`

L'analyse des interactions entre des bibliothèques au sein d'un même programme permet de mieux comprendre quels sont les circonstances qui peuvent conduire à des comportements non désirés, comme le masquage de fonctionnalité présent l'exemple de la figure-3.4. Cela permet aussi d'établir les conditions qui permette d'éviter ces comportements non désirés.

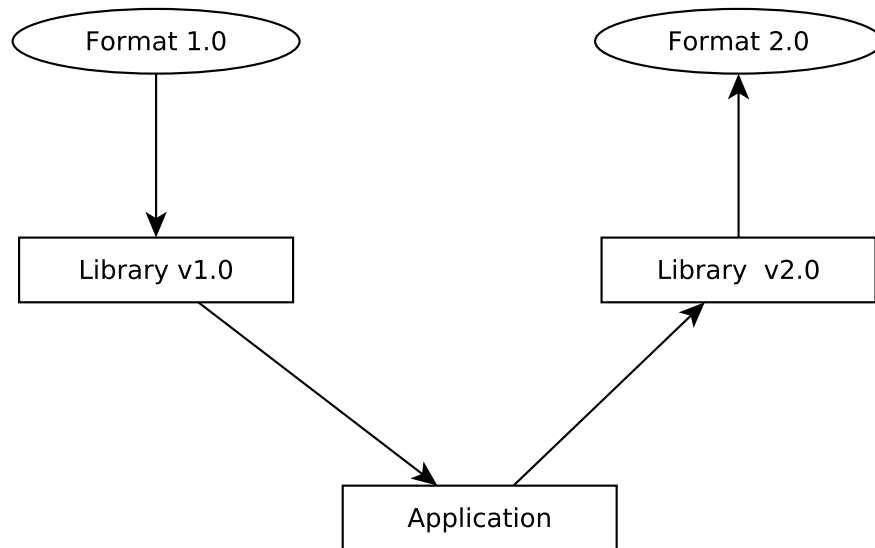
### 3.1.1. Coexistence entre bibliothèque

Les bibliothèques coexistent de deux façon principales, de façon passive dans un système fichier et de façon active durant l'exécution d'un programme. Un système de fichier contient un arborescence hiérarchique de répertoires et de fichiers avec une seule racine. Un fichier est l'entité dans un système de fichier qui contient les données, c'est dans cette entité que le code des bibliothèques se situe. Les répertoires sont les entités qui permette de regrouper plusieurs fichiers de façon logique. La racine correspond au sommet de la hiérarchie du système de fichier. La façon de référer au un fichier uniquement dans un système de fichier est d'utiliser le chemin absolu. Cela correspond à la liste des répertoires à parcourir de la racine jusqu'au fichier. L'outil responsable d'organiser les bibliothèques sur un système est le *package manager*. Il possède plusieurs objectif incluant l'installation de bibliothèque, la mise

à jour de toute les bibliothèques installées, la désinstallation de bibliothèque et la résolution des dépendances.

Un cas intéressant de coexistence entre bibliothèques est celui qui inclue plusieurs versions d'une même bibliothèque, car cela peut amener des problème à la fois sur le système de fichier et durant l'exécution d'un processus utilisant ces bibliothèques. Il y a aussi plusieurs utilités d'avoir plusieurs version d'une même bibliothèque, cela permet de supporter des application qui dépend de bibliothèques antérieurs.

Un autre application est de convertir un vieux format de fichier vers un format plus récent. Dans le cas où il n'est pas possible de plusieurs version d'une bibliothèque il faut alors écrire un *reader* pour lire le vieux format manuellement ensuite le utilise fonctions de la version cible de bibliothèque pour générer le nouveau format du fichier. Cette solution à comme problème que le *reader* est beaucoup moins testé que la vielle version de la bibliothèque. Cela demande aussi de réécrire qu'est-ce qui à déjà été fait.



**FIGURE 3.5.** Un exemple d'application de conversion entre deux version d'un format de fichier comme sqlite2 et sqlite3 exploitant la possibilité de charger plusieurs version d'une bibliothèque.

L'architecture de processus sur un système permet plusieurs propriétés. La robustesse, un processus failli les autres processus ne sont pas affectés. La sécurité et l'isolation, chaque processus possède leur mémoire qui n'est pas accessible par les autre processus et peuvent

utilisé une version spécifique des bibliothèques. Il est possible de concevoir l'architecture de processus en utilisant des threads. Un *thread* décrit un courant d'exécution d'un programme. Un processus a au minimum un *thread* qui correspond au courant d'exécution principal du programme. Les *threads* sont utiles pour paralléliser l'exécution d'un processus. La création de *threads* est beaucoup plus rapide que la création d'un processus, car elle ne nécessite pas l'appel au système d'exploitation.

Ce modèle exploite la légèreté des *threads* par rapport au processus et la possibilité de charger plusieurs versions des bibliothèques qu'il a besoin au sein du système. Cela est similaire au modèle de processus utilisé par le système d'exploitation, sauf que l'ensemble est juste au sein d'un seul processus. Étant donné que les *threads* vivent tous au sein d'un même processus, il est donc facile de partager des informations d'un *thread* à un autre. Ce qui est plus difficile avec le modèle de processus, cela nécessite l'utilisation d'un mécanisme comme la mémoire partagée.

### 3.2. Conditions entre des versions des bibliothèques

Des conditions suffisantes pour que deux bibliothèques puissent coexister ensemble dans un même processus incluant deux versions de la même bibliothèque, c'est la pureté fonctionnelle des fonctions et l'unicité des noms des fonctionnalités. La pureté fonctionnelle garantit que chaque fonction de la bibliothèque retourne toujours le même résultat quand il est invoqué avec les mêmes arguments sans utiliser l'affectation d'une variable globale. Dans un contexte *multi-threadé*, l'avantage principal est qu'il n'est pas possible d'avoir une condition de course sur une donnée partagée si les fonctions sont purement fonctionnelles, car pour qu'une condition de course se produise il faudrait un effet de bord (assignation), qui impliquerait que la fonction n'est pas pure. Le fait que chaque fonctionnalité est associée à un nom unique cela inhibe la capacité d'une bibliothèque de masquer une fonctionnalité d'une autre bibliothèque.

Une condition de courses survient lorsque l'ordre des opérations d'un programme s'exécute dans un ordre que le programmeur n'a pas conçu. Par exemple, une application avec deux fils d'exécutions, un qui lit la valeur d'une variable globale l'autre qui l'écrit. Deux scénarios sont possibles, la lecture peut s'effectuer avant ou après la modification de la

variable globale selon l’ordonnancement de ces deux fils d’exécution. Le résultat de la lecture est dépendant de l’ordonnancement de ces deux opérations.

Comme mentionné ces conditions sont suffisante pour que deux bibliothèques coexiste sans problème, mais elles ne sont non nécessaires. Il existe des bibliothèques qui ne respect pas ces conditions, mais peuvent coexister avec d’autres bibliothèques. Pour tester la coexistence entre plusieurs bibliothèques, des expériences ont été effectué dans plusieurs systèmes de modules existant. Le but de l’expérience est d’observer le bon fonctionnement des la bibliothèques au sein de même processus.

Les expériences qui suivent permette d’observer les caractéristiques des bibliothèques qui ne respecte pas ces conditions qui peuvent cohabiter au sein d’une même application et aussi les caractéristiques de ceux qui ne fonctionne pas.

La capacité d’un langage d’interfacer avec d’autre langage via la FFI propage les limitations du langage cible.

### 3.2.1. Bibliothèque C

Les bibliothèques dans le langage C sont compilés dans un format natif pour la plateforme courante (e.g. Window, MacOSX, Linux). Leur format diffère d’un système d’exploitation à un autre, Window utilise le format *dll* (*dynamic loading library*), MacOSX utilise le format *dylib* (*Mach-O dynamic library*) et Linux utilise le format *so* (*shared library*).

Les bibliothèques C consistent de symboles qui correspondent aux fonctions est variables globales exportées. Une bibliothèque est généralement lié à un programme C en le spécifiant durant la création du programme. Lors de l’exécutions les symboles non définit dans le programme sont résolu par le *dynamic linker*.

Les collisions de symboles entre deux bibliothèques cause un masquage de fonctionnalité d’une des deux bibliothèques. Un problème est de savoir si cela est possible de chargé deux bibliothèque avec des collisions de symboles et accéder aux fonctionnalités distincts de ces bibliothèques.

Pour chargé deux versions d’une même bibliothèque en C, il faut utilisé un moyen qui prend en compte des symboles communs. La résolution des symboles ce fait par un parcourt en largeur dans la liste des symboles des bibliothèques. Le résultat est le premier objet qui



correspond au nom de symbole recherché. L'ordre des bibliothèques utilisé dans la résolution des symboles correspond à l'ordre spécifié lors de la construction de l'exécutable.

```
> gcc -lSDL -lSDL2 exemple.c -o exemple
> ldd ./exemple
libSDL.so => /usr/lib/libSDL.so
libSDL2.so => /usr/lib/libSDL2.so
```

**FIGURE 3.6.** Création d'un exécutable lié aux deux bibliothèques SDL et SDL2 dans cette ordre.

Les tests ont été effectués sur deux versions de SDL, la 1.2 et la 2, car SDL utilise peut utiliser des ressources communes comme les événements du clavier, la mémoire et le GPU en utilisant OpenGL pour faire de l'affichage 2D ou 3D. Plusieurs situations sont testées, chacune sans thread et avec des threads :

- (1) Une utilisation de SDL minimaliste qui n'écoute pas les événements utilisateurs.
- (2) Une utilisation de SDL avec une boucle d'événements de base.
- (3) Une utilisation de SDL avec une utilisation d'un contexte OpenGL.

Puisque SDL1.2 et SDL2 ont des collisions de symboles (i.e. `SDL_Init`, `SDL_FillRect`, `SDL_BlitSurface`, ...), l'une des premières observations à effectuer est la bonne répartition des appels de fonctions des deux bibliothèques dans le contexte d'une même application. Le problème à identifier est un appel à une fonction qui est dans SDL1.2 qui est redirigé vers SDL2. Le facteur qui influence laquelle des deux bibliothèques va masquer l'autre est l'ordre dans laquelle ils sont liés au programme à la création, comme montré à la figure-3.6.

Le masquage amène une problématique qui peut mener à une défaillance du programme, car cela peut provoquer la transmission d'une structure incompatible de la première bibliothèque à la deuxième. Dans le cas de SDL, la structure `SDL_Surface` a une disposition différente des champs, donc incompatible. Le premier champ qui décale l'alignement de ces deux structures est le *pitch*, qui dans SDL1.2 est déclaré en `Uint16` alors qu'en SDL2 il est un `int` qui sont des types de taille différente. Donc, l'accès au prochain champ `pixels` est

différent entre SDL1.2 et SDL2, ce qui peut causer un accès non désiré en mémoire si une structure de SDL1.2 est accédé comme une structure de SDL2.

1	<code>typedef struct SDL_Surface {</code>	<code>typedef struct SDL_Surface {</code>	1
2	<code>    Uint32 flags;</code>	<code>    Uint32 flags;</code>	2
3	<code>    SDL_PixelFormat *format;</code>	<code>    SDL_PixelFormat *format;</code>	3
4	<code>    int w, h;</code>	<code>    int w, h;</code>	4
5	<code>    Uint16 pitch;</code>	<code>    int pitch;</code>	5
6	<code>    // Different offset here</code>	<code>    // Different offset here</code>	6
7	<code>    void *pixels;</code>	<code>    void *pixels;</code>	7
8	<code>    ...</code>	<code>    ...</code>	8
9	<code>} SDL_Surface;</code>	<code>} SDL_Surface;</code>	9

Puisque les programmeurs cherchent une certaine stabilité dans leurs bibliothèques, ils ont tendance à éviter les dépendances avec des bibliothèques qui ont des collisions de fonctionnalités. Il est peut probable d’avoir une cohabitation entre deux bibliothèques avec des nom de fonctionnalités similaires lié à un programme où bibliothèque par des arguments du compilateur.

Le cas qui pourrait permettre plusieurs bibliothèques avec des collisions de symboles au sein d’une même est avec l’API du *dynamic linker*. Un teste simple permet de démontrer la capacité de répartir les appels d’une fonction identifié par le même nom dans différentes bibliothèques.

La structure générale des tests est organisé comme suit. Deux bibliothèques implémentant une interaction valide avec l’une des versions de la bibliothèque (e.g. SDL1.2, SDL2). Un application qui unie ces deux bibliothèques en utilisant l’API du *dynamic linker* pour exécuter ces deux bibliothèques séquentiellement ou parallèlement.

Dans le test minimaliste sans gestion d’évènements l’exécution des bibliothèque fonctionne dans les deux cas, séquentiellement et en parallèle. La raison qui explique ce bon fonctionnement est la répartition des appels au fonctions des deux bibliothèques et le fait qu’il n’utilise pas de structure commune, qui pourrait causer des conditions de course dans le test en parallèle.

```

#include <SDL/SDL.h>

int main(int argc, char **argv) {
    SDL_Init(SDL_INIT_VIDEO);
    SDL_WM_SetCaption("sdl1_2", NULL);
    SDL_Surface *win =
        SDL_SetVideoMode(200, 200, 24, SDL_HWSURFACE);

    Uint32 color = SDL_MapRGB(win->format, 255, 0, 0);

    SDL_FillRect(win, NULL, color);
    SDL_Flip(win);
    SDL_Delay(1000);

    SDL_FreeSurface(win);
    SDL_Quit();
    return 0;
}

```

**FIGURE 3.7.** Programme qui utilise la bibliothèque SDL1.2 sans la gestion des évènements. Cette application génère une fenêtre rouge qui se ferme après 1 seconde de délais.

Dans le test incluant des évènements, l'hypothèse supposait que les évènements du clavier aurait causé des problèmes de conditions de course en parallèle. Le test a aussi fonctionné séquentiellement et en parallèle, malgré la dépendance commune du clavier.

Le test qui incluait OpenGL, n'aurait pas dû fonctionner par hypothèse. Les deux versions de SDL référaient à une unique version de OpenGL. Le résultat a été surprenant, car le test séquentiel et parallèle a fonctionné. Ce qui amène à conclure qu'il existe des cas de coexistence entre des bibliothèques avec des collisions de symboles qui fonctionnent sans causer des problèmes d'exécution.

```

#include <SDL2/SDL.h>

int main(int argc, char **argv) {
    SDL_Init(SDL_INIT_VIDEO);

    SDL_Window *win = SDL_CreateWindow("title",
        SDL_WINDOWPOS_CENTERED, SDL_WINDOWPOS_CENTERED,
        200, 200, SDL_WINDOW_SHOWN);

    SDL_Surface *screen = SDL_GetWindowSurface(win);

    Uint32 color = SDL_MapRGB(screen->format, 0, 255, 0);
    SDL_FillRect(screen, NULL, color);
    SDL_UpdateWindowSurface(win);

    SDL_Delay(1000);
    SDL_DestroyWindow(win);
    SDL_Quit();
    return 0;
}

```

**FIGURE 3.8.** Programme qui utilise la bibliothèque SDL2 sans la gestion des évènements. Cette application génère fenêtre verte qui se ferme aussi après 1 seconde de délais.

### 3.2.2. Bibliothèque Scheme avec FFI

La compatibilité entre version a été testé sur la partie cryptographique RSA de OpenSSL, SDL et un générateur aléatoire qui possède un état global. Pour observer le comportement de bibliothèque Scheme liant des fonctionnalités implémenté dans un autre langage, dans ces exemple C. Ces tests montrent le problème de masquage décrit précédemment dans des bibliothèques réelle. Pour tester les bibliothèques natives en Scheme, il a fallut écrire des un code spécial pour lier les types et les fonction au monde Scheme. Ces

Par hypothèse la partie cryptographique des deux versions de OpenSSL peuvent coexister. Chacune des fonctions cryptographique de OpenSSL1.0 et OpenSSL1.1 exécute du code disjoint qui n'interfère pas avec une zone mémoire commune. Cela implique qu'un appelle à une fonction de OpenSSL1.0 n'affectera pas les résultats des appelle futures de OpenSSL1.1. Les fonctions nécessaires pour tester la partie cryptographique RSA sont :

- `PEM_read_bio_RSA_PUBKEY` et `PEM_read_bio_RSAPrivateKey` : Ce sont les fonctions OpenSSL qui permettent de lire la clef publique et la clef privée.
- `RSA_public_encrypt` : La fonction d'encryption qui crypte un message en utilisant une clef publique.
- `RSA_private_decrypt` : La fonction qui permet de décrypter un message en utilisant la clef privée.
- `RSA_free` : La fonction qui libère la mémoire alloué pour les clefs publiques et privées. Cette fonction n'est pas nécessaire pour les testes, mais utile pour une bonne gestion mémoire.

La structure de donnée utilisé par les fonctions d'OpenSSL pour la cryptographie RSA est un pointeur vers un enregistrement RSA. La liaison avec le type C est effectué avec la forme spécial `c-define-type`.

Le teste consiste à crypter un message en utilisant une clé publique, décrypter le cryptogramme avec la clé privée et comparer le message original avec le message décrypter pour les deux versions de OpenSSL chargé dans le même processus. Pour vérifier la bonne invocation des fonctions de OpenSSL1.0 et OpenSSL1.1 respectif le débogueur **gdb** a été utilisé. Les bibliothèques d'OpenSSL consiste en deux fichier `libssl.so` et `libcrypto.so`. En déboguant la répartition des appels avec *gdb*, il y a eu l'observation que la bibliothèque `libcrypto.so` de OpenSSL1.1 masquait la version de OpenSSL1.0 s'il n'est pas spécifié explicitement lors

de la création de la bibliothèque Scheme *rsa.scm* comme à la figure-3.9. Les raisons sont liées à plusieurs facteurs qui étaient présents durant l'expérience. L'ordre de recherche des symboles qui inclue les symboles des bibliothèques lié à l'exécutable qui sont prioritaire qui contenait *libssl.so* et *libcrypto.so* de OpenSSL1.1. Dans ce cas, il était possible de résoudre ce problème en ajoutant une dépendance directe à *libcrypto* lors de la construction des bibliothèques Scheme RSA comme montré dans la figure-3.10.

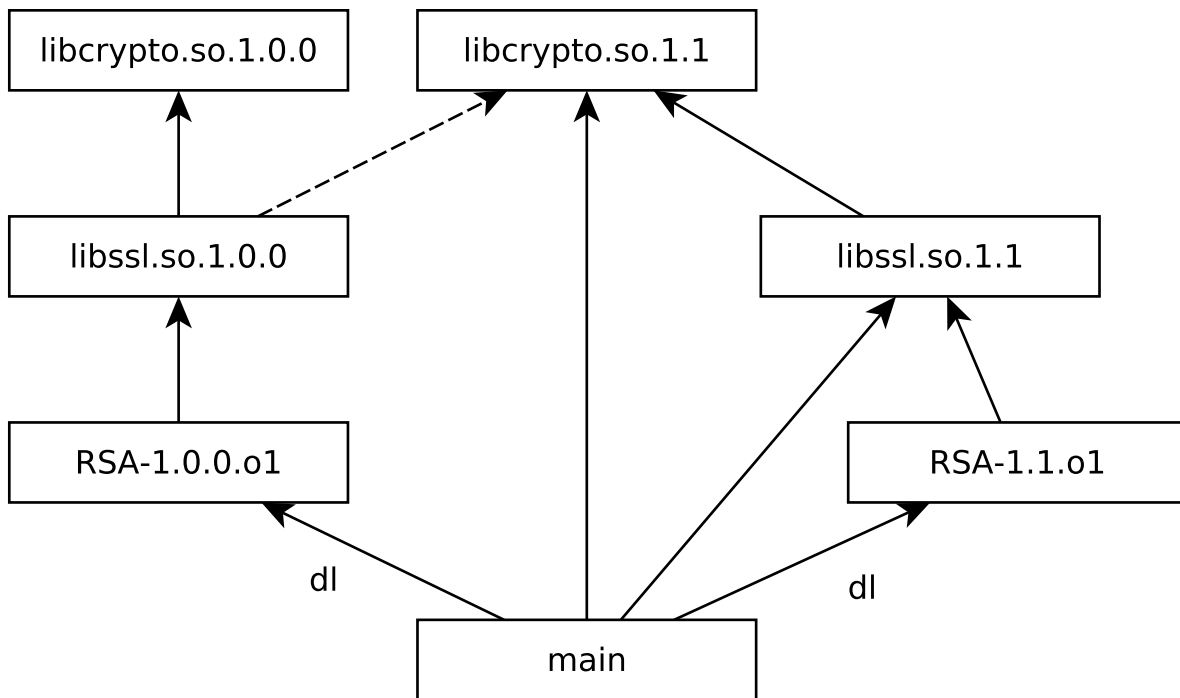
```
gsc-script -o rsa-1-0-0.o1 \  
-cc-options '-I /usr/include/openssl-1.0' \  
-ld-options '-L /usr/lib/openssl-1.0 -lssl' \  
-prelude '(define-cond-expand-feature|openssl-v10|)' rsa.scm  
  
gsc-script -o rsa-1-1-0.o1 \  
-ld-options "-lssl" rsa.scm
```

**FIGURE 3.9.** Création des bibliothèques *rsa.scm* pour OpenSSL1.0 et OpenSSL1.1 sans la spécification de *libcrypto.so*

```
gsc-script -o rsa-1-0-0.o1 \  
-cc-options '-I /usr/include/openssl-1.0' \  
-ld-options '-L /usr/lib/openssl-1.0 -lssl -lcrypto' \  
-prelude '(define-cond-expand-feature|openssl-v10|)' rsa.scm  
  
gsc-script -o rsa-1-1-0.o1 \  
-ld-options "-lssl -lcrypto" rsa.scm
```

**FIGURE 3.10.** Création des bibliothèques *rsa.scm* pour OpenSSL1.0 et OpenSSL1.1 avec la spécification de *libcrypto.so*

TODO : rng générateur



**FIGURE 3.11.** Schéma des dépendances entre les bibliothèques au sein d'un processus. Les dépendances qui ont été lié dynamiquement lors la création de l'application sont représenté par une flèche avec trait plein sans annotation. Ceux qui représente les chargement de bibliothèque dynamique via `dlopen` ont l'annotation *dl*. La flèche en pointillé indique un masquage des symboles de la bibliothèque source par celle pointée.

### 3.2.3. Bibliothèque Javascript (NodeJS)

Pour effectué des tests sur la coexistences de différente version d'une bibliothèque Javascript dans NodeJS, il faut tout d'abord permettre l'importation de plusieurs versions d'une même bibliothèque. Dans NodeJS, l'importation de module s'effectue avec la fonction `require(module-name)`. Puisque l'information de version de la bibliothèque n'est pas fournit en paramètre à la fonction, il faut donc utilisé une autre méthode de forcer plusieurs versions des bibliothèque. La configuration d'un module dans NodeJS utilise le format JSON pour spécifier le nom, la version, les dépendances, ...

Les dépendances sont conservées sous la forme d'un arbre, chaque module à ses dépendances directes qui ont aussi des dépendances indirectes. Lors de l'écriture d'un module

Javascript, il est possible de spécifier la version de chaque dépendance dans le fichier *package.json*.

```
{  
  ...  
  "dependencies": {  
    "express": "4.16.3"  
  },  
  ...  
}
```

En utilisant cette fonctionnalité du système de module de NodeJS, deux bibliothèques *wrapper* sont écrit pour interfacer les deux versions de express. Puisque l'API public d'express n'a pas changé entre les versions 3.21.1 et 4.16.3, il est possible de recycler le code de la bibliothèque qui encapsule une version d'express (figure-3.2.3).

```
const express = require('express');  
  
function start() {  
  const app = express();  
  const port = Math.floor(Math.random() * 64535 + 1000);  
  
  app.get('/', (req, res) => {  
    res.send('Hello_world!\n');  
  });  
  
  app.listen(port, 'localhost', () => {  
    console.log('Listen_on_port_' + port);  
  });  
}  
exports.start = start;
```



Le programme principale ne fait qu'importer les deux encapsulation de bibliothèque et invoque la fonction *start*.

Le résultat attendu dans cette expérience est que ces deux version de la bibliothèque express coexiste sans problème, sauf dans le cas où le port tcp utilisé par les deux version est le même. Dans ce cas, c'est la bibliothèque dont la fonction *start* a été invoqué en premier qui va monopoliser le tcp port. Dans ce cas la ressource qui inhibe la coexistence de ces modules au sein d'un même processus est lié au *socket*.

#### 3.2.4. Variables globales communs

Puisque qu'il n'existe qu'une seul instance de chaque bibliothèque en mémoire, cela implique que les variables globale d'une bibliothèque.

Définissons 3 bibliothèques B, C et D telle que D a une variable globale nommée *value*. B et C ont chacun une dépendance directe vers D, et exportent une référence de la variable globale *value* de D.

Le programme principale A commence par charger B et C. Ensuite lit la valeur de *B.D.value* puis modifie *C.D.value* et relit *B.D.value*. Le teste réussi si la valeur de *B.D.value* reste inchangé par la modification de *C.D.value*. Cela implique que les références vers la bibliothèque D est différente de via B et via C.

Dans NodeJS, un module peut être installé via un dossier, un archive tarball, un dépôt de code source git ou directement via Npmjs. Puisque un module publié dans Npmjs ne peut pas être retiré facilement étant donné la politique lié au module (<https://docs.npmjs.com/cli/unpublish>).



# Chapitre 4

---

## Implémentation des modules

La syntaxe des module se veut portable entre différente implémentation de Scheme. Gambit est un système qui se veut conforme R7RS. La syntaxe choisit pour les modules est celle qui utilise `define-library` dans R7RS. Cette forme offre plus de flexibilité que la forme `library` dans R6RS. Le standard R7RS est une simplification du standard R6RS qui offre des fonctionnalités équivalentes.

Le format des modules R7RS construit par `define-library` contient plusieurs composantes. L'espace de nom du module qui regroupe toutes les fonctionnalités. Une liste des modules qui sont utilisés par le module courant. Une liste des symboles exportés par le module. Il est possible de modifier l'identifiant d'un module lors de l'importation et de l'exportation. L'importation multiple d'un module doit correspondre à un seul chargement. Pour exprimer les relations entre les modules certaines formes spéciales plus simples ont été ajoutées dans Gambit. Si les concepteurs de bibliothèques respectent la syntaxe R7RS, alors il est possible de l'importer dans Gambit. C'est indépendant du système dans lequel les bibliothèques ont été écrites.

### 4.1. La forme `##namespace`

Les espaces de nom sont gérés avec une forme spéciale propre à Gambit. Cette forme se nomme `##namespace` et permet d'associer des identifiants à d'autres. Cette forme primitive est présente dans Gambit depuis longtemps. Un espace de nom se compose de n'importe quelle séquence de caractère terminée par un `#`. Il y a seulement l'espace de nom vide qui ne respecte pas cette règle, c'est l'espace de nom par défaut. Les associations de symboles

données par la forme `##namespace` respecte la portée lexical. Il y a trois types d'opération avec les espaces de nom.

Il y a les espaces de nom global qui s'applique à tous les symboles qui ne contiennent pas de #.

```
(##namespace ("<ns>"))  
;; <symbol-name> => <ns><symbol-name>
```

**Listing 4.1.** Namespace Global

Il est possible de spécifier la liste des symboles qui sont affectés par la déclaration d'espace de nom. De la syntaxe 4.1 il suffit d'ajouter les symboles après le nom de l'espace de nom.

```
(##namespace ("<ns>" A B ...))  
;; A => <ns>A  
;; B => <ns>B  
;; ...
```

**Listing 4.2.** Namespace Set

La forme `##namespace` permet aussi d'associer un identifiant à un autre identifiant dans un espace de nom donné. Chaque association est marqué par une paire qui alias le premier élément par le second. Par exemple, la paire (`<old>` `<new>`) remplace `<old>` par `<new>`.

```
(##namespace ("<ns>" (<old> <new>) ...))  
;; <old> => <ns><new>  
;; ...
```

**Listing 4.3.** Namespace Rename

Cette forme est utilisé pour de créer un espace distinct pour chaque module. Cela permet d'éviter les conflits de nom entre les identifiants des modules. Chaque module commence par déclarer son espace de nom suivit des définitions des procédures du module. Une déclaration d'espace de nom à l'une des forme donné par 4.1, 4.2 ou 4.3.

```
;; hello.scm
(namespace "hello#" hello)
(define (hello)
  (display "Hello, world!\n"))
(hello)
```

**Listing 4.4.** Module Hello

L'exemple 4.4 est un exemple d'utilisation de la forme `##namespace` dans pour créer un espace pour le module `hello`. La procédure `hello` est dans l'espace de nom `hello#`.

## 4.2. La forme `##demand-module` et `##supply-module`

Le mécanisme de chargement des modules est géré par la forme spéciale `##demand-module`. Cette forme indique au système de charger un module s'il n'est pas déjà chargé. Cette forme gère le chargement multiple d'un module. Elle est utilisé pour importer la liste des modules requis par le module courant. Le fonctionnement de cette forme est similaire à la procédure `load` avec quelque différence. La forme `##demand-module` est une macro qui génère une expression vide. L'effet de cette forme agit après la phase d'expansion des macros. Le paramètre passé à `##demand-module` doit être un symbole qui correspond au nom du module. La procédure `load` requière le chemin complet vers le fichier à charger.

Il est à noter que l'ordre des `##demand-module` correspond à l'ordre que les modules vont être visité. Cette forme agit peut importe sont emplacement ou l'expansion de macros est appliquée.

Un forme spéciale conjointe au `##demand-module` indique le nom symbolique des modules importés des modules exportés. Cette forme spéciale est `##supply-module` Elle accepte comme paramètre le nom du module exporté par l'unité courant. La syntaxe de ces deux formes dans le listing 4.5.

```
(##demand-module <module-ref>)
(##supply-module <module-ref>)
```

**Listing 4.5.** Syntaxe `demand-module` et `supply-module`

### 4.2.1. Les Méta Informations

Un module a des informations qui sont utilisées lors de l'expansion et même la compilation. Ces informations sont spécifiées par la forme `##meta-info`. Cette forme accepte au moins un paramètre qui est le nom de la méta information, le reste des paramètres est la valeur associée à la méta donnée.

```
(##meta-info <name> <value>)  
(##meta-info <name> <value> ...)
```

Les méta informations sont utilisés pour donner des paramètres de compilation du module. Les différentes méta informations sont `cc-options`, `ld-options`, `ld-options-prelude`, `pkg-config` et `pkg-config-path`. Ces méta informations ne sont utiles que pour les modules compilés.

- Les `cc-options` sont ajoutés aux options de la commande qui invoque le compilateur C.
- Les méta informations `ld-options` et `ld-options-prelude` ajoutent les paramètres à la commande qui invoque l'éditeur de lien. Les paramètres dans `ld-options-prelude` précèdent ceux qui sont dans `ld-options`.
- `pkg-config` contient le nom des bibliothèques C à être liées au module Scheme. Les options nécessaires pour le compilateur C sont déterminées automatiquement par l'utilitaire `pkg-config`.
- `##pkg-config-path` ajoute des répertoires à la variable d'environnement `PKG_CONFIG_PATH` qui est utilisée par l'utilitaire `pkg-config`.

## 4.3. Implémentation des modules primitifs

Un module primitif est généralement constitué d'un fichier d'entête avec la déclaration de l'espace de nom et les définitions de macros et un fichier contenant les procédures. Dans Gambit les fichiers d'entête sont marqués par un `#` juste avant l'extension.

- `<name>#.scm` est la structure du nom du fichier d'entête. Ce fichier contient des déclarations d'espace de nom et des définitions de macros.
- `<name>.scm` est la structure du nom du fichier qui contient les procédures du module.

Le nom des fichier doit correspondre à la dernier partie du nom de module. Par exemple, le module primitif `angle2` doit inclure les fichiers `angle2/angle2.scm` et généralement `angle2/angle2#.scm`.

```
;; angle2/angle2#.scm
(##namespace ("angle2#" deg->rad rad->deg))

;; angle2/angle2.scm
(include "angle2#.scm")
(##namespace ("angle2#" factor))
(##supply-module angle2)
(define factor (/ (atan 1) 45))
(define (deg->rad x) (* x factor))
(define (rad->deg x) (/ x factor))
```

**Listing 4.6.** Écriture d'un module qui implémente une pile. Ce module est séparé en 2 fichiers. Le fichier `stk#.scm` qui contient les exportations et `stk.scm` qui contient les implémentations des fonctions.

Dans l'exemple 4.6, il y a dans `angle2/angle2.scm` l'inclusion de du fichier d'entête `angle2/angle2#.scm` qui ajoute une déclaration d'espace de nom redondante dans ce cas. La déclaration `(##namespace ("angle2#"))` implique l'espace de nom ajouté par l'inclusion du fichier d'entête. Il est possible que l'espace de nom déclaré dans `angle2/angle2#.scm` ne corresponde pas à celui utilisé dans `angle2/angle2.scm`.

La forme `##namespace` dans l'exemple 4.6 s'applique aux identifiants suivant :

```
factor      --> stk#factor
deg->rad     --> stk#deg->rad
rad->deg     --> stk#rad->deg
```

#### 4.3.1. La forme `##import`

L'importation des modules est effectué par la forme `##import` qui effectue deux actions, l'inclusion du fichier `<name>#.scm` et un chargement des définitions. La forme `##import`,

comme `##demand-module` s'occupe de trouver l'emplacement du fichier d'entête à partir du nom du module. Elle génère le `##include` du fichier d'entête s'il existe et un `##demand-module` du module. L'importation (`##import angle2`) est équivalent à :

```
(##include "/un/chemin/angle2/angle2#.scm")  
(##demand-module stk)
```

**Listing 4.7.** Expansion de (`##import angle2`)

## 4.4. Implémentation des modules R7RS

Pour que le système de module soit compatible avec d'autre implémentation Scheme, les modules haut niveau sont défini dans le standard R7RS Small [18]. Les modules sont définis par la forme `define-library` la syntaxe est donnée par le listing 2.2. Les forme `define-library` et `import` utilisé les formes spéciales utilise par les modules primitifs. L'élément qui distingue un module primitif et un module R7RS est l'utilisation de la forme `define-library`.

### 4.4.1. Expansion du `import`

La façon que la forme `import` est expansé dépend du type de module qui est importé. L'importation d'un module primitif est différent de l'importation d'un module R7RS. Gambit permet l'importation d'un module primitif en utilisant la même forme que pour les modules R7RS. Les capacités du `import` dépendent s'il est d'un `define-library` d'un programme principal. Dans le cas d'un `define-library` le `import` supporte l'importation relatif, qui est un extension de Gambit.

#### 4.4.1.1. *Importation d'un module primitif*

L'importation d'un module primitif limite la syntaxe du `import`. Il n'est pas possible d'utiliser les extensions `only`, `except` et `rename` sur un module primitif présentement. Le `import` R7RS se rabat sur le `##import` des modules primitifs qui ne supporte pas les extensions R7RS. Cela permet d'utiliser des modules primitifs dans un contexte R7RS.



```
;; expansion of (import (termite))  
(##import termite)
```

**Listing 4.8.** Expansion du `import` d'un module primitif

#### 4.4.1.2. *Importation d'un module R7RS*

L'importation d'un module R7RS est expansé en au plus trois parties. Un `##demand-module` qui s'occupe de charger l'implémentation des procédures du module. Une déclaration de d'espace de nom qui donne accès au identifiants que le module exporte. L'implémentation des macros qui sont exporté du module.

L'instruction de chargement du module est générer dans tous les cas qu'un module définit des procédures. Un module qui ne définit que des macros ne nécessite pas d'être charger durant l'exhowdy seulement dans le contexte d'expansion des macros. L'importation d'un module R7RS qui ne contient qu'une déclaration `export` ne nécessite pas d'être chargé durant l'exécution. Ce type de module est utilisé pour exporter les fonctionnalité déjà implémenté dans Gambit dans un contexte R7RS.

La forme utilisé pour rendre disponible à l'ensemble identifiants importés est `##namespace`. L'ensemble des identifiants importés dépend de la forme du `import`. Par défaut, tous les identifiant, exporté par le module, sont importés. Les opérateurs `only` et `except` affectent le nombre d'identifiant importé. Les opérateurs `prefix` et `rename` affecte le nom des identifiants. Dans l'exemple 4.9, l'importation inclut l'ensemble des identifiants exporté par le module. L'ensemble des formes `##namespace` générées par un `import` est donnée par le listing 4.10.

```
;; expansion of (import (github.com/gambit/hello))  
(##demand-module github.com/gambit/hello)  
(##namespace ("github.com/gambit/hello#" hi salut))  
;; macros
```

**Listing 4.9.** L'exemple de l'expansion du `import` du module R7RS `github.com/gambit/hello` qui exporte les procédures `hello` et `hi`

```

;; (import (only (github.com/gambit/hello) hi))
(##namespace ("github.com/gambit/hello#" hi))

;; (import (except (github.com/gambit/hello) hi))
(##namespace ("github.com/gambit/hello#" salut))

;; expansion of (import (prefix (github.com/gambit/hello) m-))
(##demand-module github.com/gambit/hello)
(##namespace ("github.com/gambit/hello#" (m-hi hi) (m-salut salut)))

;; (import (rename (github.com/gambit/hello) (hi bonjour)))
(##namespace ("github.com/gambit/hello#" (howdy hi) salut))

```

**Listing 4.10.** Différent `##namespace` généré par l’expansion du `import` d’un module R7RS.

#### 4.4.2. Expansion du `define-library`

La forme `define-library` est expansé dans les formes qui composent un module primitif. Chacune des déclarations de la bibliothèque est utilisée dans l’expansion du `define-library`. La déclaration d’exportation est valide si toutes les identifiants exportés sont distincts. Une déclaration `export` qui exporte un identifiant plusieurs fois cause une erreur de syntaxe. Les informations les identifiant exporté ne sont pas utilisé lors l’expansion du `define-library`, mais lors de l’importation de cette bibliothèque. Les déclarations `import` sont expansées de la même façons que dans contexte des programmes principaux.

```

(define-library (hello)
  (import (scheme base) (scheme write))
  (export hi salut)
  (begin
    (define (exclaim msg1 msg2)
      (display msg1)
      (display msg2)
      (display "!\n"))
    (define (hi name) (exclaim "hello " name))
    (define (salut name) (exclaim "bonjour " name))
    ;; it is best for a library to not have side-effects...
    #;(salut "le monde"))))

```

**Listing 4.11.** C'est le code source du module `github.com/gambit/hello` avant l'expansion.

```

;; expansion of (define-library (hello) ...)
(##declare (block))
(##supply-module github.com/gambit/hello)
(##namespace ("github.com/gambit/hello#"))
(##namespace (" define ..."))
(##namespace (" write-shared write display write-simple"))
(define (exclaim msg1 msg2)
  (display msg1) (display msg2) (display "!\n"))
(define (hi name) (exclaim "hello " name))
(define (salut name) (exclaim "bonjour " name))
(##namespace (""))

```

**Listing 4.12.** Expansion de la forme `define-library` du module `github.com/gambit/hello`.

#### 4.4.2.1. *Extensions de Gambit*

Gambit offre des extensions au `define-library` et au `import`. L'importation dans le contexte d'une bibliothèque peut être relatif au module courant. Plusieurs déclarations supplémentaires ont été ajoutées dans la forme `define-library`.

- `namespace`
- `cc-options`
- `ld-options` et `ld-options-prelude`
- `pkg-config` et `pkg-config-path`

Le listing 4.13 est un exemple d'importation relative. L'importation relative part `:w` du `module-ref` du module courant. Un `import` de `(.. C)` à partir du module `(A B)` correspond à l'importation de `(A C)`. C'est pour permettre au sous-module de tests unitaires de référencer au module principal en préservant le `<module-ref>` avec la version.

```
(define-library (A B)
  (import (.. C)) ;; => (import (A C))
  (import (..))) ;; => (import (A))
```

**Listing 4.13.** Importation relative du module `(A C)`

La déclaration `namespace` permet de forcer l'espace de nom d'un module. L'utilisation primaire de cette déclaration est l'implémentation de modules qui exportent les fonctionnalités déjà implémentées dans Gambit.

```
(define-library (scheme case-lambda)
  (namespace "")
  (export
   case-lambda
  ))
```

**Listing 4.14.** Implémentation de la bibliothèque système `(scheme case-lambda)`.

Les déclarations `cc-options`, `ld-options`, `ld-options-prelude`, `pkg-config` et `pkg-config-path` permettent d'ajouter des éléments dans les méta-informations respectives.

# Chapitre 5

---

## Modèle de chargement

Un système est composé d'un ensemble d'éléments (modules) qui interagissent entre eux. L'interaction entre les module est dans un contexte statique ou dynamique. Dans le contexte statique les modules sont incorporés au sein de l'application. Dans le contexte dynamique les modules sont externe à l'application.

### 5.1. Chargement des bibliothèques

Le chargement d'une bibliothèque Scheme (ou module) dans Gambit est séparé en plusieurs niveaux. Il y a la phase recherche du module et de ces dépendances qui valide la présence de toutes les modules nécessaire. Ensuite le module et ses dépendances sont chargés dans un ordre qui suit les relations de dépendance. Un module est soit sur le disque ou déjà en mémoire. L'emplacement des bibliothèques sur le système de fichier est lié par défaut aux chemin spécifié par le `##module-search-order` a comme défaut `~~lib` et `~~userlib`.

La procédure exacte de chargement des bibliothèques par `import` n'est pas spécifier par le standard R7RS. Le standard spécifie seulement une syntaxe de base et le de comportement principal qui est requis. L'importation d'une bibliothèque doit chargé la bibliothèque et rendre c'est fonctionnalité disponible dans le contexte l'importation a eu lieu qui peut soit ovenir d'un programme principale ou d'une bibliothèque.

Le chargement d'une bibliothèque peut-être effectuée à l'exécution par l'utilisation de `eval` (par `load`) pour les fichiers source et `load-object-file` pour les bibliothèques compilées. Cette recherche peut aussi avoir lieu durant l'édition des lien en utilisant les méta-infos contenus dans les `.c` qui sont chacun compilé par le compilateur C en `.o` et lié par le *linker*.

## 5.2. Modèle statique

Le modèle de bibliothèque statique consiste à intégrer la bibliothèques dans l'application finale. La bibliothèque n'a pas besoin d'être chargé durant l'exécution. L'avantage du modèle statique est le déploiement. Puisque tout les dépendances sont dans l'application finale, il suffit de distribué celle-ci. Le compilateur Gambit support un modèle statique pour des programme simple. Compiler un application lié statiquement est possible de façon manuelle. Pour lié statiquement deux fichiers Scheme simple il suffit d'invoquer le `gsc` comme suit :

```
$ gsc file1.scm file2.scm
```

Un des problèmes du modèle statique est le coût lié à la maintenance. Les programmes qui utilise des bibliothèques statiques ne permettent pas une construction modulaire. La mise à niveau d'une des bibliothèques statiques nécessite la recompilation du programme au complet. En plus, cela n'est pas adapté pour des applications évolutifs qui peuvent être étendu par l'utilisateur. Une solution qui a été adopté est le modèle dynamique 5.3. Cela offre une plus grande liberté dans la conception des programmes.

## 5.3. Modèle dynamique

Dans le modèle dynamique chaque module est séparé durant l'exécution. L'application contient les informations pour extraire les fonctionnalités des modules durant l'exécution. Le déploiement d'un application nécessite la distribution de toutes les dépendance. Les bibliothèques partagés offre plusieurs avantages par rapport aux bibliothèques statique.

Dans ce modèle les bibliothèques sont lié au programme durant l'exécution. Cela nécessite que les bibliothèques soit organisé sur le système de fichier d'une façon distinguable. Chaque module doit posséder un nom unique qui permet d'y référer. Ce nom unique va être utilisé lors de la collection des dépendances.

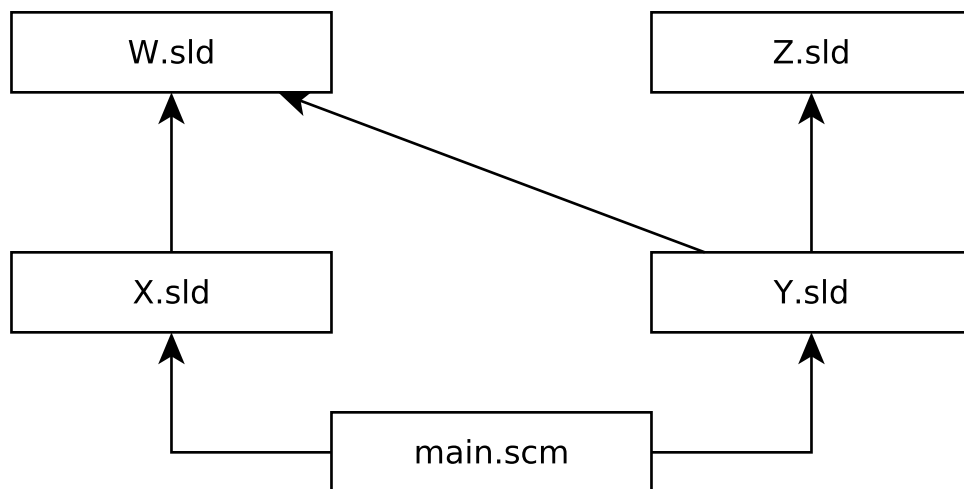
La recherche des bibliothèques est effectué dans un ordre spécifique indépendant de la spécification. L'algorithme de recherche les bibliothèques prend entré le nom de la bibliothèque et retourne le chemin absolu correspondant à sont emplacement dans l'arborescence du système de fichier. Les bibliothèques sont situées dans différents répertoires l'origine du programme, le répertoire des bibliothèques système (`~lib`) et le répertoire de bibliothèque utilisateur (`~userlib`).

Chaque module possède trois niveaux d'initialisation dans le système numérotés de 0 à 2. Le niveau 0 indique que le module est collecté, mais non initialisé. Le niveau 1 indique que le descripteur du module a été récupéré. Le niveau 2 marque les module chargé qui sont prêts à être utilisé.

```
> (define mods (##collect-modules '(_zlib)))
> mods
(#(_digest
  0
  (#(_digest) #() () 1 #<procedure #2> #<foreign #3 0x7f448797ec00>))
#(_zlib
  0
  (#(_zlib) #(_digest) () 1 #<procedure #4> #<foreign #5 0x7f44879f6740>))
)
> (##init-modules mods)
#t
> ##registered-modules
(#(_digest 2 (#(_digest) #() () 1 #<procedure #2 _digest#> ...))
#(_zlib 2 (#(_zlib) #(_digest) () 1 #<procedure #4 _zlib#> ...))
...)
```

**FIGURE 5.1.** Un exemple qui montre la collection des modules à partir du module `_zlib` suivit de l'initialisation des modules collectés. La collection des modules est effectuée par la procédure `##collect-module`. L'ensemble des modules retournés sont initialisés par la procédure `##init-modules`. Les enregistrements des modules `_zlib` et `_digest` sont montrés par la variable `##registered-modules`.

Dans l'exemple 5.2, l'exécution du module principal **main.scm** déclenche la collection des modules X et Y, qui récursivement déclenche la collection de W et Z. L'algorithme de collection des modules gère les modules qui apparaissent plusieurs fois au sein du graphe. Une fois la collection de tous ces modules est complétée le descripteur de module est récupéré par un appel aux primitives du système d'exploitation si compilé.



**FIGURE 5.2.** Un exemple d'un système fictif composé de différents modules. Le module principale se nomme **main.scm** avec l'extension **.scm** et les bibliothèques ont l'extension **.sld**

### 5.3.1. Module compilé dans Gambit

Les modules dans Gambit peuvent être compilé pour plus de performance en bibliothèque dynamique. Les programmes principaux peuvent être compilé en exécutable. Gambit permet de l'utilisation de bibliothèques statiques et dynamiques.

```

;; fib.scm
(define (fib n)
  (if (< n 2)
      n
      (+ (fib (- n 1))
          (fib (- n 2))))))

```

**FIGURE 5.3.** Un module qui implémente la fonction mathématique **fib**.

La construction d'une bibliothèque dynamique à partir du fichier **fib.scm** de la figure 5.3 s'effectue par le compilateur de Gambit qui s'appelle **gsc**. Cela produit un fichier avec l'extension **.oN** où le **N** correspond à la version générée de la bibliothèque qui commence à 1.



## 5.4. Module hébergé

Un module qui est hébergé est un module qui dont son contenu se retrouve sur un domaine comme `github.com`. La syntaxe des noms de domaine est inspiré du RFC-2396 [3]. La différence avec la spécification du *hostname* dans le RFC-2396 est que le *hostname* ne peut pas finir par un point et doit contenir au moins un `domainlabel`. C'est pour permettre de distinguer un module local et un module hébergé.

```
hostname      = +( domainlabel "." ) toplabel
domainlabel   = alphanum | alphanum *( alphanum | "-" ) alphanum
toplabel      = alpha | alpha *( alphanum | "-" ) alphanum
alphanum      = alpha | digit
alpha         = [a-zA-Z]
digit         = [0-9]
```

**Listing 5.1.** Grammaire BNF représentant un `hostname` selon un sous ensemble du RFC-2396.

### 5.4.1. Installation automatique

L'installation automatique d'un module dépend du contenu de la *whitelist*. La *whitelist* contient une liste de préfixe utilisé pour valider les `<module-ref>`. La validation consiste à trouver un élément dans la *whitelist* qui correspond à un préfixe du `<module-ref>`.

Un élément est considéré un préfixe si chaque composants sont inclus dans le `<module-ref>` dans le même ordre. L'élément `github.com/gambit` est un préfixe de `github.com/gambit/hello`, car les parties *github.com* et *gambit* font partie du `<module-ref>`. Le module `github.com/gambitXYZ/hello` ne contient pas le préfixe `github.com/gambit`, car *gambit* est différent de *gambitXYZ*.

Par défaut `github.com/gambit` est inclus dans cette liste. Cela implique que tous les modules sous `github.com/gambit` peuvent être installé automatiquement. La *whitelist* peut être modifié par un option de l'interprète :

```
$ gsi -:whitelist=github.com/foo
> (##os-module-whitelist)
("github.com/gambit" "github.com/foo")
```

En plus de la *whitelist* il y a aussi le mode d'installation. Le mode d'installation indique si l'installation demande une confirmation à l'utilisateur lors de l'installation d'un module qui n'est pas dans la *whitelist*. Il y a trois modes d'installation.

- **never** : il y a seulement les modules qui sont dans la *whitelist* qui peuvent être installés.
- **repl** : les modules qui ne sont pas dans la *whitelist* peuvent être installés avec la confirmation textuelle de l'utilisateur s'il y a une *repl*.
- **ask-always** : les modules qui ne sont pas dans la *whitelist* peuvent être installés avec la confirmation textuelle de l'utilisateur.

Le mode d'installation est spécifié par le *runtime option* nommé *ask-install*.

```
$ gsi -:ask-install=always
```

```
Gambit v4.9.3
```

```
> (import (github.com/frederichamel/semver))
Hosted module github.com/frederichamel/semver is required but is not installed.
Download and install (y/n)? n
*** ERROR IN (stdin)@1.9 -- Cannot find library (github.com/frederichamel/semver)
>
```

**FIGURE 5.4.** L'exemple montre le résultat d'une réponse négative lors de l'installation du module qui n'est pas dans la *whitelist*. Il ne se fait pas installer.

# Chapitre 6

---

## Gestion des modules

La gestion des modules inclut généralement l’installation, la mise à jour et la désinstallation. L’organisation des modules est un élément important dans la gestion des modules. Les gestionnaires de modules sont présent dans beaucoup de langage telle que Python, Ruby, Javascript, Common Lisp, Go, etc. Un gestionnaire de module est inclus dans le système Gambit Scheme pour organiser les modules.

Le gestionnaire de module de Gambit Scheme fournit les opérations d’installation, de désinstallation, de mise à jour, de compilation d’un module et l’exécution des tests unitaires du module. Les modules sont versionnés par Git. L’emplacement des modules est spécifié par une liste de répertoires qui inclus les modules systèmes et les modules utilisateurs. La gestion des modules est effectuée par le module `_pkg` qui offre les procédure d’installation d’installation et de désinstallation.

### 6.1. Organisation des modules

Les modules sont organisés dans des répertoires données par le système Gambit. Ils contiennent l’ensemble des modules internes et actuellement installés sur le système. Il y a trois principaux répertoires spéciaux qui contiennent des modules.

- `~~userlib` : c’est le répertoire qui contient les modules de l’utilisateur courant.
- `~~lib` : c’est le répertoire d’installation de Gambit qui contient les modules système. Les modules dans ce répertoire sont commun à tous les utilisateurs.
- `~~instlib` : c’est le répertoire d’installation des modules. Par défaut, il correspond au répertoire `~~userlib`.

Un module local ou hébergé est identifié de façon unique par un `module-ref`. Un `module-ref` est séparé en trois parties : le `hostname`, le `path` et l'étiquette qui donne la version. La différence entre une référence à un module local et hébergé est la première partie. Dans le cas hébergé, le champs `hostname` contient l'information du nom de domaine qui, dans le cas local, est vide. Le `<tag>` spécifie la version du module avec une référence à un commit du système de révision Git. Un `<tag>` vide réfère à la version de développement du module. La syntaxe du nom de domaine est donnée par la grammaire[5.4]. La grammaire formelle 6.1 décrit la syntaxe du `<module-ref>` dans le cas hébergé et local.

```

<module-ref> := <local> | <hosted>
<local>      := <id>(/<id>)*<tag>
<hosted>     := <hostname>/<id>/<id>(/<id>)*(@<tag>)?

```

**Listing 6.1.** Grammaire formelle

Le `module-ref` `github.com/gambit/hello` réfère au module `hello` sur le serveur de révision `github.com` dans l'espace `gambit`. Le champs `host` de est dans ce cas `github.com/gambit` qui correspond au nom de domaine avec le nom de l'espace sur le le serveur.

### 6.1.1. Installation de module

L'installation des modules peut être soit à partir d'un serveur de révision ou d'un répertoire local versionné par git. Dans les deux cas d'installation, le `module-ref` est utilisé pour déterminer l'emplacement du module dans le répertoire des modules. Chaque `module-ref` est associé à un répertoire unique dans le répertoire des modules.

Les modules sont hébergés sur des serveurs de version tel que github, gitlab, bitbucket, etc. Chaque version d'un module est installé dans un répertoire distinct. Il est donc possible d'avoir plus d'une version d'un module installé. L'installation des modules s'effectue par l'intermédiaire du module `_git` qui offre un interface à l'utilitaire `git`. Le processus d'installation est séparé en plusieurs étapes. Le contenu du module est installé dans un répertoire temporaire qui est ensuite renommé au répertoire de destination. Cela permet d'installer le module de façon atomique.

Tout d’abord, la branche `master` dépôt du module est cloné. Ensuite une archive de la version est faite et extraite dans le préfixe des modules. Le préfixe est par défaut `~~userlib`. Il est possible de spécifier un préfixe d’installation dans lequel installer les modules. Plusieurs versions d’un même module coexistent dans le même préfixe d’installation.

La branche `master` est utilisé comme version de développement et comme cache pour installer les autres versions. Une version d’un module est soit un commit une branche ou un étiquette. L’installation d’une version spécifique utilise la cache pour récupérer l’archive de la version demandé et l’extraire dans l’espace des module.

La procédure `install` de `_pkg` accepte deux paramètres : le nom du module et de façon optionnelle le préfixe d’installation. Elle retourne la valeur de vérité vrai (`#t`) si l’installation réussit, sinon faux (`#f`).

```
(install mod #!optional to)
```

L’installation peut être effectué en passant l’option `-install` à l’interprète `gambit`. Cette option requière le nom du module et de façon optionnelle le préfixe d’installation.

```
$ gsi -install [-to <path>] module [...]
```

Le préfixe `<path>` est la racine utilisée pour installer les modules et est spécifier par l’option `-to`. La racine par défaut est `~~userlib`. Voici un exemple d’installation d’une version spécifique du module `semver` qui implémente la logique du *semantic versioning*.

```
$ gsi -install -to /tmp/exemple github.com/frederichamel/semver@1.0.1
```

## 6.2. Désinstallation

La désinstallation d’un module consiste à supprimer les fichiers de ce module. Le module `_pkg` offre la procédure `uninstall` qui accepte deux arguments : le nom du module et de façon optionnelle le répertoire dans lequel les modules sont situés. Les valeurs retournées par cette procédure sont similaires à la procédure.

```
(uninstall mod #!optional to)
```

La désinstallation peut être faite en passant l’option `-uninstall` à l’interprète `Gambit`. Cette option requière le nom du module et le répertoire des modules à désinstaller.

```
$ gsi -uninstall [-to <path>] module
```

Le répertoire `<path>` est l'emplacement des module à désinstallé. Le format des arguments pour la désinstallation est le même que pour l'installation. Le répertoire par défaut est le répertoire `~~userlib`.

La désinstallation du module `semver` dans installé dans le répertoire `/tmp/exemple` est fait par la commande suivante :

```
$ gsi -uninstall -to /tmp/exemple github.com/frederichamel/semver@1.0.1
```

### 6.3. Mise à jour

Cette opération actualise la branche `master` du module. Cela donne accès au nouvelle publication d'un module. Pour installer une nouvelle version d'un module, il suffit de faire la mise à jour de la branche `master` et d'installer la nouvelle version.

```
$ gsi -update [-to <path>] module
```

### 6.4. Tests unitaires

Les tests unitaires exécutés sont dans dans un fichier conjoint au module. Gambit offre un module de test unitaire nommé `gambit/test`. Il contient plusieurs procédure pour tester le bon fonctionnement d'un module. Les tests unitaires pour un module nommé `A` est un fichier `A-test.scm` dans le répertoire du module.

```
$ gsi module/test  
*** all tests passed out of a total of N tests
```

La commande affiche le résultat des tests unitaires contenus dans le sous-module `test`.

### 6.5. Compilation d'un module

La compilation d'un module est fait en passant le nom du module (`<module-ref>`) en paramètre. Le compilateur cherche le module dans les répertoires du `##module-search-order`. Le module est installé au besoin et ensuite compilé dans un sous répertoire. Ce dossier associe la compilation de ce module à la version de Gambit et à la cible (C, JavaScript, ...). La compilation d'un module se fait par la commande suivante :

```
$ gsc <module-ref>
```

L'arborescence du répertoire du module après la compilation du module `_digest` pour le *backend* C ressemble à :

```
|-- _digest@gambit409003@C
|   |-- _digest.c
|   '-- _digest.o1
|-- _digest#.scm
|-- _digest.scm
'-- test.scm

1 directory, 5 files
```

## 6.6. Comparaison avec d'autre système

L'organisation des module sur le système de fichier dans Gambit diffère de celui de OCaml, Python et NodeJS. Ils ne permettent pas l'installation de plus d'une version d'un module directement. Le système utilisé dans Go ressemble beaucoup au système implémenté dans Gambit.

Un système de module permet la coexistence de plusieurs version du même module sur le système de fichier s'ils sont considérés comme des modules différents. L'installation d'un version différente d'un module ne remplace pas la version déjà installée. L'organisation des bibliothèques est importante pour permettre cette coexistence.

La caractéristique que le système de bibliothèque doit avoir pour permettent plusieurs version d'une bibliothèque est un organisation qui permet de distinguer les différentes versions de la bibliothèque par un chemin unique. La plupart des système de module ne distinguer pas les version d'un même module et ne permette l'installation que d'une seul version. Les systèmes de module permettent la gestion de différent préfixe dans lequel les modules sont installés. Chaque préfixe peut contenir une version différente d'un même module. Pour avoir une nouvelle version d'un module, il faut créer un nouveau préfixe.

	Multiple versions
OCaml	✗
Python	✗
NodeJS	✗
Java	✗
Go	✓

**FIGURE 6.1.** Une table qui compare différents systèmes de modules sur la capacité d'installer plusieurs versions d'un module. Le système Go permet plusieurs versions d'un module pour des versions incompatibles selon la sémantique de version. La version 1.0.0 coexiste avec la version 2.0.0. La version récente 1.2.0 remplace la vieille version 1.0.1.

### 6.6.1. Organisation de OCaml

Le système de gestion de bibliothèques d'OCaml se nomme OPAM. Ce système permet d'avoir plusieurs environnements distincts contenant chacun un ensemble de versions des bibliothèques. Chaque environnement permet l'installation d'une version spécifique de chaque bibliothèque et est étiqueté avec un nom choisi par l'utilisateur. Un changement d'environnement est effectué par une requête de l'utilisateur `opam switch <envname>`. Il utilise le projet *mancoosi*, un projet Européen de recherche dans le 7<sup>e</sup> cadre de recherche (FP7) de la commission Européenne, pour gérer les contraintes de version, les dépendances optionnelles et la gestion des conflits. L'environnement par défaut est lié aux dépôts standard d'OCaml.

### 6.6.2. Organisation de Python

L'organisation des bibliothèques Python ne permet de stocker que la dernière version d'une bibliothèque. Les emplacements des bibliothèques sont modifiés par la variable d'environnement `PYTHONPATH` qui correspond dans python à la variable `path` de la bibliothèque interne `sys`. Le système de bibliothèque de Python ne permet pas la coexistence de plusieurs versions de la même bibliothèque. Le *package manager* principal de Python est *pip*. L'installation d'une autre version d'une bibliothèque désinstalle ou masque la version déjà installée. Le système de modules ne permet pas de référer à deux versions de la même bibliothèque.



```
>>> import sys
>>> print('\n'.join(sys.path))
/usr/lib/python3.7.zip
/usr/lib/python3.7
/usr/lib/python3.7/lib-dynload
/home/username/.local/lib/python3.7/site-packages
/usr/lib/python3.7/site-packages
```

**FIGURE 6.2.** L'ensemble des répertoires qui est utilisé par Python version 3.7 pour organiser les bibliothèques sur un système de type Linux.

Python a le concept équivalent à OCaml de *virtualenv* qui permet d'avoir plusieurs versions installées sur la même machine. Cela permet de d'installer des bibliothèques dans un environnement isolé des autres. L'avantage est qu'il est possible d'avoir une compatibilité avec des logiciels qui utilisent des versions de bibliothèques antérieures. Un inconvénient est qu'il n'y a pas un partage des versions de bibliothèques communes entre les différents environnements, cela a comme effet d'avoir plus d'un exemplaire d'une version de la bibliothèque installée sur le système de fichiers. Chaque *virtualenv* ne permet qu'une seule version de chaque bibliothèque d'être installée.

### 6.6.3. Organisation de NodeJS

NodeJS est un interprète Javascript qui a été conçu pour être exécuté du côté serveur dans un modèle client-serveur. Les bibliothèques sont installées au niveau du projet. Cela implique que plusieurs projets qui utilisent la même version de la bibliothèque vont avoir la même exemplaire de la bibliothèque.

La structure d'une bibliothèque dans NodeJS est décrite par un fichier `package.json` qui contient plusieurs méta-données comme le nom, la version, le nom des dépendances, la version des dépendances, la licence sous laquelle la bibliothèque est publiée et plusieurs autres méta-données liées à la bibliothèque. Sous NodeJS les bibliothèques sont gérées par projet plutôt que globalement cela a comme avantage que chaque projet fonctionne avec ses versions des bibliothèques.

#### 6.6.4. Organisation de Java

Les modules en Java sont nommé *package*. Le nom des modules utilise généralement l'inverse d'un url comme espace de nom. Par exemple, les noms des modules liés aux services Google vont débuté par `com.google`. Cette convention à pour but d'unifier les noms de module. La version des module n'est pas lié au nom du module dans le cas de Java. Il n'est pas possible de chargé deux module qui utilise le même espace de nom, comme deux version d'un même module.

#### 6.6.5. Organisation de Go

L'organisation des bibliothèques dans Go est plus dans un contexte environnement dont la racine est spécifier par la variable d'environnement `GOPATH` avec un répertoire pour les exécutable compilé (`bin`), un répertoire contenant le code source des différent projets (`src`) et un répertoire pour les objets des modules installé (`pkg`). Chaque paire de système d'exploitation et d'architecture a son propre répertoire dans `pkg`.

Le système Go permet l'installation de plusieurs version d'un même module dans le même environnement en utilisant le service *gopkg.in*. Il y a deux syntaxes utilisées pour l'url des module Go avec *gopkg.in*. Il est possible de spécifier une version spécifique du module lors de l'importation.

```
gopkg.in/pkg.v3      -> github.com/go-pkg/pkg (branch/tag v3, v3.N, or v3.N.M)
gopkg.in/user/pkg.v3 -> github.com/user/pkg   (branch/tag v3, v3.N, or v3.N.M)
```

Refer to go help golang

`$GOPATH/`

- `bin`
- ... `binaries`
- `src`
- `github.com`
  - `UserName1`
    - `project1`
    - `project2`
  - `UserName2`

```

package main

import (
    hellov1 "gopkg.in/FredericHamel/go-hello.v1"
    hellov2 "gopkg.in/FredericHamel/go-hello.v2"
)

func main() {
    // use hello version 1
    hellov1.Hello("Bob")

    // use hello version 2
    hellov2.Salut("Alice")

    // hellov1.Salut("Eve")
}

```

**FIGURE 6.3.** Un exemple qui montre l’importation de deux version d’un même module en Go. Le module **go-hello** version 2 exporte la fonction **Salut** qui n’existe pas dans la version 1.

- projectA
- projectB
- pkg
  - linux\_amd64
  - pkglist
  - objets



# Chapitre 7

---

## Migration de code

Les systèmes distribués sont constitué d'un ensemble de nœuds interconnecter de calculs. Les nœuds interagissent par l'envoi et la réception de message au sein d'un réseau de communication. Chaque nœud a but spécifique. Le *World Wide Web* est un exemple notable qui permet d'avoir un aperçu. Ils est composé de clients et de serveurs qui roulent des application clients et serveurs différent.

L'implémentation d'un système distribué inclut le développement des applications installé sur les nœuds et la logique d'interaction entre les nœuds. Il est possible de voir l'ensemble des programme sur les nœuds comme un programme global. Les problèmes discutés dans ce chapitre sont les suivant :

- **RPC** : Comment l'appelle distant à une procédure (RPC) implémenté quand l'envoyeur et le receveur ne sont pas conçu ensemble ?
- **Mise à jour de code** : Comment la mise à jour du programme d'un nœud est effectué lors d'un *bugfix* ou une nouvelle version est disponible ?
- **Migration de tâche** : Comment déplacer un service sur un nouveau nœud quand le système sous-jacent est sur un système d'exploitation différent, a un architecture différente, ... ?
- **Opération continue** : Comment éviter les interruptions dans les situations précédentes ?

Le langage Termite Scheme[9] a été conçu pour simplifier l'implémentation de systèmes distribués et fournit certaine solution au problèmes de ces système. Le langage Termite Scheme est fortement inspiré des concepts du langage de programmation d'Erlang avec la syntaxe et la sémantique de Scheme. Une fonctionnalité intéressante qui est absent en Erlang

est la capacité d'envoyer une continuation en message. Termite Scheme est implémenté sur le système Gambit Scheme qui offre la une façon de sérialiser la plupart des objets Scheme incluant les procédures et les continuations.

La sérialisation de procédures est un outil utile dans pour implémenter un protocole RPC. En plus des procédures, il est possible de sérialiser des continuations. Une continuation est une structure de donnée qui capture l'état d'un processus. Donc il est possible de transmettre l'état d'un processus sur un autre nœud.

L'implémentation original de Termite avait certaines limitations lors de la sérialisation des procédures et des continuations. Dans le cas interprété les procédures et les continuations sont transmis sans problème entre les nœuds. Dans le cas compilé, il faut que chaque nœud possède la définition des procédures qui sont transmis.

## 7.1. Le langage Termite

Ce langage conçu par Guillaume Germain en 2006 est l'implémentation du style de programmation par message d'Erlang dans Gambit Scheme. Les processus sont représentés par les threads de Scheme. La communication entre ces processus est effectué par un système de boîte de message présent dans Gambit. Chaque thread possède une queue de message entrant.

Termite expose plusieurs procédures pour gérer les processus et la transmission de message entre chacun des nœuds.

- La procédure (`spawn <thunk> #!key <name>`) permet de créer des processus Termite.
- La procédure (`! <node> <msg>`) envoie le message `msg` au nœud `node`.
- La procédure (`?`) permet de recevoir un message envoyé par un autre processus au nœud courant.
- La procédure (`!? <node> <msg>`) envoie un message au nœud `node` et attend la réponse.
- La macro (`recv (<pattern> <expr1> ...) ...`) permet un *pattern-matching* sur les message reçu du nœud courant.

## 7.2. *Hook* des procédures inconnues

Le système Termite permet la migration de code compilé avec les procédures `object->u8vector` et `u8vector->object`. Ces procédures effectuent respectivement la sérialisation et la désérialisation. La sérialisation d'une procédure est encodé par le nom de la procédure et un id.

Le nom qualifié de la procédure (i.e. qui contient un `#`) est composé de l'espace de nom et du nom court. La procédure `_hamt#make-hamt` est dans l'espace de nom `_hamt` et à un nom court `make-hamt`. L'espace de nom dans un module qui est hébergé correspond au `module-ref` qui correspond dans le cas des modules hébergés à l'url du dépôt content le code du module.

Dans le processus de désérialisation le nom de la procédure et le id est utilisé pour retrouver la procédure. Un *hook* est invoqué si la procédure n'existe pas dans le processus courant. Le but de ce *hook* est de dynamiquement installer et charger le module qui implémente la procédure inconnue.

## 7.3. Exemple de migration de code

L'exemple d'application est un horloge programmable implémenté en Scheme avec Termite. L'exemple montre un exemple de migration de tâche qui contient du code nom présent sur le nœud destination. Cette horloge offre un API simple :

- La modification du fuseau horaire est fait en envoyant un entier.
- Le message `timezone-get` permet de récupérer le fuseau horaire courant.
- Le message `update-code` permet la mise à jour du code du serveur à l'exécution.
- Tous les autres messages sont rejetés par le serveur.

Le code exécuté par la boucle principale est présent dans la figure 7.2. L'affichage de l'heure est actualisé à une fréquence constante. Le serveur démarre un nœud Termite qui exécute la boucle de la figure 7.2.

```

;; clock-app.scm
(import (termite))
(import (github.com/frederichamel/termite-clock @v1))

;; Should be integrated in the system.
(##unknown-procedure-handler-set!
  (lambda (name id)
    (let* ((name-str (##symbol->string name))
           (proc/ns (##reverse-string-split-at name-str #\#)))
      (and (##pair? (##cdr proc/ns))
           (let ((mod-name (##last proc/ns)))
             (##load-module (##string->symbol mod-name))
             (let ((proc (##get-subprocedure-from-name-and-id name id)))
               proc))))))

(define node (make-node "0.0.0.0" 3000))
(define (start)
  (node-init node)
  (display "\033[H\033[J")
  (clock-start 'clock-app)
  (wait-for (resolve-service 'clock-app)))

(start)

```

**FIGURE 7.1.** Le code du serveur qui configure la *hook* qui résout les références à procédures inconnues. C'est effectué avec la procédure `##unknown-procedure-handler-set!`.



```

(define (clock-thread-loop timezone)
  (let tick ()
    (let* ((now (time->seconds (current-time)))
           (next (* 0.5 (floor (+ 1 (* 2 now))))) ;; next 1/2 second
           (to (seconds->time next)))
      (let wait ()
        (recv
         ((from tag timezone) (where (integer? timezone))
          (! from (list tag 'ok)) ;; send confirmation
          (clock-thread-loop timezone))

         ((from tag ('update-code k))
          (! from (list tag 'ok)) ;; send confirmation
          (k timezone))

         ((from tag 'timezone-get)
          (! from (list tag timezone))
          (wait))

         (msg
          (pp msg)
          (wait))

         (after to
          (clock-update next timezone)
          (tick))))))

```

**FIGURE 7.2.** C'est le code de la boucle principal de l'horloge programmable.

```
;; config.scm
(define local (make-node "a.local" 3000))
(define remote (make-node "b.local" 3000))

(node-init local)
```

**FIGURE 7.3.** Configuration des nœuds qui est utilisé sur les clients.

```
(import (termite))

;; Configure the current node.
(include "config.scm")

;;; Update timezone
(let* ((args (command-line))
      (rest (cdr args)))
  (if (or (null? rest)
        (pair? (cdr rest)))
      (pp (!? (remote-service 'clock-app remote) 0))
      (let ((timezone (string->number (car rest))))
        (pp (!? (remote-service 'clock-app remote) (or timezone 0))))))
```

**FIGURE 7.4.** Un programme qui change le fuseau horaire utilisé par l'horloge.

```
(import (termite))  
(import (github.com/frederichamel/termite-clock @v2))  
  
;; Configure the current node.  
(include "config.scm")  
  
(!? (remote-service 'clock-app raspi4)  
    (list 'update-code clock-thread-loop))
```

**FIGURE 7.5.** Un exemple de mise à jour du code du serveur en par le message `update-code`.



# Chapitre 8

---

## Évaluation

La gestion des modules permet plusieurs versions d'un module d'être installé. Au sein d'une application, il est possible de charger plus d'une version d'un module dans le système.

Les performances du système de module est mesuré en utilisant le temps de téléchargement, de compilation et de chargement des modules. Les modules pour tester les capacités de migration de code sont basés sur certains *benchmark* standard de Scheme présent dans Gambit.

- Compiler (400K)
- Scheme (40K)
- Puzzle (4K)

Les tests de performance sont effectués sur des nœuds **A** et **B**. Le test de migration consiste à migrer une tâche sur le nœud générique **B**. Le nœud générique ne connaît aucun code qui est migré dessus.

### 8.1. Spécification des machines

L'ensemble des expériences ont été faites sur trois machines : arctic, gambit et tictoc.

### 8.2. Résultats

Les résultats liés au transfert sont affectés par les pertes de paquets. La vitesse de transfert est affectée dans l'ordre des millisecondes. Cela affecte 1/10 des transferts effectués dans les tests compilés.

Architecture:	x86_64
CPU op-mode(s):	32-bit, 64-bit
CPU(s):	4
Thread(s) per core:	1
Core(s) per socket:	4
Vendor ID:	GenuineIntel
Model name:	Intel(R) Core(TM) i7-7700K CPU @ 4.20GHz
CPU MHz:	4200.000
CPU min MHz:	800.0000
Storage:	216GB (NVME)
RAM:	16GB
Swap:	16GB
C Compiler	gcc (Debian 6.3.0-18+deb9u1) 6.3.0 20170516
Ethernet Speed	1Gbps

**FIGURE 8.1.** La spécification de la machine arctic qui est utilisé comme nœud de destination dans l'ensemble des tests. Cette machine, nommé **Arctic** est refroidit au liquide.

Architecture:	armv7l
Byte Order:	Little Endian
CPU(s):	4
Thread(s) per core:	1
Core(s) per socket:	4
Vendor ID:	ARM
Model name:	Cortex-A72
CPU max MHz:	1500.0000
CPU min MHz:	600.0000
OS:	Linux tictoc 4.19.66-v7l+ #1253 SMP
Storage:	26GB (sdcard)
RAM:	2GB
Swap:	2GB
C Compiler	gcc (Raspbian 8.3.0-6+rpi1) 8.3.0
Ethernet Speed	1Gbps

**FIGURE 8.2.** La spécification du CPU du Raspberry Pi utilisé dans les tests. Cette machine se nomme **tictoc**.

Architecture:	x86_64
CPU(s):	12
Thread(s) per core:	2
Core(s) per socket:	6
Model name:	Intel(R) Core(TM) i7-8700B CPU @ 3.20GHz
Storage:	1TB (SSD)
RAM:	8GB
Network Speed:	1Gbps

	4K	40K	400K
RPC	1761.6( $\sigma = 84.9$ )	4816.6( $\sigma = 136.5$ )	48609.4( $\sigma = 112.4$ )
Scheme à C	122.7( $\sigma = 4.9$ )	589.6( $\sigma = 4.9$ )	9335.7( $\sigma = 15.7$ )
Compilation C	686.3( $\sigma = 0.0$ )	3102.1( $\sigma = 99.7$ )	36443.8( $\sigma = 53.8$ )
Install	850.4( $\sigma = 17.6$ )	918.6( $\sigma = 82.3$ )	1192.3( $\sigma = 67.4$ )
Transfert de module	58.1( $\sigma = 63.8$ )	172.0( $\sigma = 60.0$ )	133.5( $\sigma = 77.4$ )
Exécution	9.3( $\sigma = 4.8$ )	0.2( $\sigma = 0.0$ )	1473.0( $\sigma = 9.3$ )

**FIGURE 8.3.** Ce sont les temps d'exécution et transmission de module de différente taille entre les machines Gambit et Arctic. Les modules sont installés automatiquement sur Arctic lors de l'exécution.

	4K	40K	400K
RPC	23.6( $\sigma = 0.9$ )	10.5( $\sigma = 0.3$ )	1492.8( $\sigma = 1.9$ )
Transfert de module	4.8( $\sigma = 0.1$ )	5.7( $\sigma = 0.1$ )	14.2( $\sigma = 0.5$ )
Exécution	14.0( $\sigma = 0.7$ )	0.2( $\sigma = 0.0$ )	1473.5( $\sigma = 1.6$ )

**FIGURE 8.4.** Ce sont les temps d'exécution et de transmission de module de différente taille entre Gambit et Arctic dans le cas ou les modules sont présents sur chaque nœud.

	4K	40K	400K
RPC	1851.8( $\sigma = 93.6$ )	4885.8( $\sigma = 167.9$ )	48656.7( $\sigma = 112.8$ )
Scheme à C	123.3( $\sigma = 5.0$ )	590.1( $\sigma = 5.2$ )	9336.8( $\sigma = 16.3$ )
Compilation C	686.3( $\sigma = 0.1$ )	3068.8( $\sigma = 98.5$ )	36444.8( $\sigma = 54.6$ )
Install	869.8( $\sigma = 56.6$ )	948.1( $\sigma = 98.7$ )	1213.5( $\sigma = 29.4$ )
Transfert de module	89.1( $\sigma = 64.8$ )	194.0( $\sigma = 66.1$ )	150.7( $\sigma = 79.2$ )
Execution	10.2( $\sigma = 5.5$ )	0.2( $\sigma = 0.1$ )	1467.6( $\sigma = 9.8$ )

**FIGURE 8.5.** Cette expérience est le même que 8.3, sauf que le transfert de module est fait entre un machine ARM (tictoc) et x86 (arctic).



	4K	40K	400K
RPC	92.6( $\sigma = 15.2$ )	92.9( $\sigma = 5.2$ )	1554.1( $\sigma = 17.3$ )
Transfert de module	31.7( $\sigma = 1.5$ )	32.9( $\sigma = 1.4$ )	49.0( $\sigma = 1.4$ )
Execution	19.8( $\sigma = 0.0$ )	0.2( $\sigma = 0.0$ )	1486.6( $\sigma = 2.1$ )

**FIGURE 8.6.** Cette expérience est la même que 8.4, sauf que le transfert de module est fait entre un système ARM (tictoc) et x86 (arctic).

	4K	40K	400K
RPC	2123.0( $\sigma = 152.4$ )	5219.7( $\sigma = 152.9$ )	49377.5( $\sigma = 154.4$ )
Scheme à C	123.3( $\sigma = 5.2$ )	590.9( $\sigma = 5.5$ )	9345.3( $\sigma = 20.7$ )
Compilation C	686.3( $\sigma = 0.1$ )	3094.8( $\sigma = 100.4$ )	36440.8( $\sigma = 47.8$ )
Install	895.6( $\sigma = 133.8$ )	999.1( $\sigma = 71.2$ )	1614.4( $\sigma = 95.2$ )
Transfert de module	335.0( $\sigma = 71.6$ )	449.2( $\sigma = 61.9$ )	468.0( $\sigma = 80.7$ )
Execution	10.4( $\sigma = 5.6$ )	0.2( $\sigma = 0.0$ )	1467.7( $\sigma = 10.5$ )

**FIGURE 8.7.** Ce test est identique à 8.5 avec un réseau de 10Mbit/s.

	4K	40K	400K
RPC	150.9( $\sigma = 1.4$ )	978.2( $\sigma = 1.5$ )	12397.7( $\sigma = 5.2$ )
Serialization	0.2( $\sigma = 0.0$ )	0.2( $\sigma = 0.0$ )	0.1( $\sigma = 0.0$ )
Deserialization	5.2( $\sigma = 0.0$ )	10.6( $\sigma = 0.0$ )	46.7( $\sigma = 1.0$ )
Transmission	0.4( $\sigma = 0.0$ )	0.7( $\sigma = 0.0$ )	7.7( $\sigma = 0.1$ )
Full-Transmission	5.8( $\sigma = 0.0$ )	11.6( $\sigma = 0.0$ )	54.6( $\sigma = 1.0$ )
Execution	139.0( $\sigma = 1.3$ )	957.3( $\sigma = 1.3$ )	12274.7( $\sigma = 5.0$ )

**FIGURE 8.8.** Cette expérience permet de comparer la performance RPC de Termite avant les modules dans un contexte interprété.



# Bibliographie

---

- [1] *TCLTK'96 : Proceedings of the 4th Conference on USENIX Tcl/Tk Workshop, 1996 - Volume 4*, Berkeley, CA, USA, 1996. USENIX Association.
- [2] David M. BEAZLEY, Brian D. WARD et Ian R. COOKE : The inside story on shared libraries and dynamic loading. *Computing in Science and Engineering*, 3(5):90–97, 2001.
- [3] T. BERNERS-LEE, MIT/LCS, R. FIELDING, U.C. IRVINE, L. MASINTER et Xerox CORPORATION : Uniform resource identifiers (uri) : Generic syntax, 1998.
- [4] CAPTURING, et Stefan FUNFROCKEN : Transparent migration of java-based mobile agents. In *Mobile Agents*, pages 26–37. Springer-Verlag, 1998.
- [5] W. CLINGER, J. REES et *et al* : Revised<sup>4</sup> report on the algorithmic language scheme, 11 1991.
- [6] William D CLINGER : Scheme@33. In *Celebrating the 50th Anniversary of Lisp*, LISP50, pages 7 :1–7 :5, New York, NY, USA, 2008. ACM.
- [7] Marc FEELEY et Philip W. TRINDER, éditeurs. *Proceedings of the 2006 ACM SIGPLAN Workshop on Erlang, Portland, Oregon, USA, September 16, 2006*. ACM, 2006.
- [8] Adrian FRANCALANZA et Tyron ZERAFA : Code management automation for erlang remote actors. In JAMALI *et al.* [12], pages 13–18.
- [9] Guillaume GERMAIN : Concurrency oriented programming in termite scheme. In FEELEY et TRINDER [7], page 20.
- [10] Robert S. GRAY : Agent tcl : A flexible and secure mobile-agent system. In *Proceedings of the 4th Conference on USENIX Tcl/Tk Workshop, 1996 - Volume 4*, TCLTK'96, pages 2–2, Berkeley, CA, USA, 1996. USENIX Association.
- [11] W. Wilson HO et Ronald A. OLSSON : An approach to genuine dynamic linking. *Softw., Pract. Exper.*, 21(4):375–390, 1991.
- [12] Nadeem JAMALI, Alessandro RICCI, Gera WEISS et Akinori YONEZAWA, éditeurs. *Proceedings of the 2013 Workshop on Programming based on Actors, Agents, and Decentralized Control, AGERE!@SPLASH 2013, Indianapolis, IN, USA, October 27-28, 2013*. ACM, 2013.
- [13] Takashi KATO : Implementing r7rs on an r6rs scheme system. In *Scheme and Functional Programming Workshop, SFPW 2014*, 2014.

- [14] R. KELSEY, W. CLINGER, J. REES et *et al* : Revised<sup>5</sup> report on the algorithmic language scheme, 2 1998.
- [15] A. LUKIĆ, N. LUBURIĆ, M. VIDA KOVIĆ et M. HOLBL : Development of multi-agent framework in javascript. In *ICIST 2017 Proceedings Vol.1*, pages 261–265, 2017.
- [16] Stefan M, Raymond BIMAZUBUTE et Herbert STOYAN : Mobile intelligent agents in erlang.
- [17] Michał PIOTROWSKI et Wojciech TUREK : Software agents mobility using process migration mechanism in distributed erlang. In *Proceedings of the Twelfth ACM SIGPLAN Workshop on Erlang, Erlang '13*, pages 43–50, New York, NY, USA, 2013. ACM.
- [18] A. SHIN, J. COWAN, ARTHUR A. GLECKLER et *et al* : Revised<sup>7</sup> report on the algorithmic language scheme, 7 2013.
- [19] MICHAEL SPERBER, R. KENT DYBVIG et *et al* : Revised<sup>6</sup> report on the algorithmic language scheme, 9 2007.
- [20] Eijiro SUMII : An implementation of transparent migration on standard scheme. In *Department of Computer Science, Rice University*, 2000.



