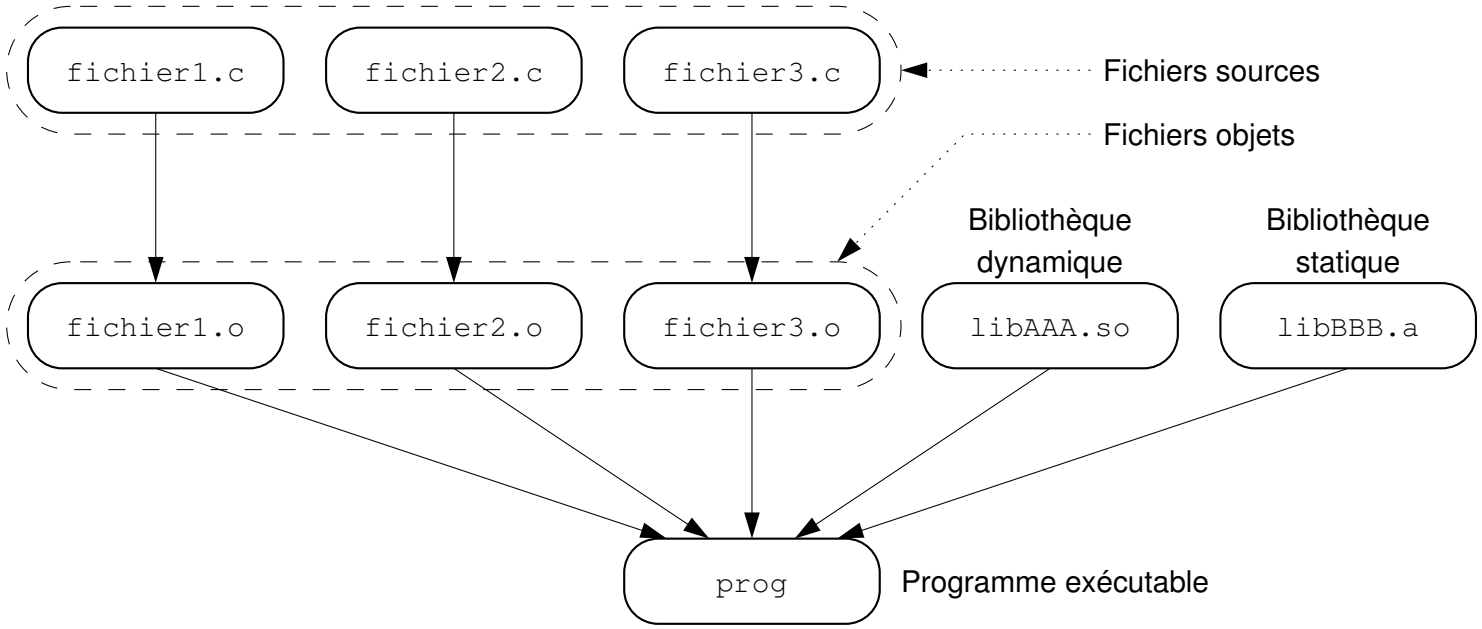
Mise en œuvre de bibliothèques

Compilation séparée
Recherche de symboles
Bibliothèques statiques
Bibliothèques dynamiques
Chargement dynamique

Fabrice Harrouet
École Nationale d'Ingénieurs de Brest
harrouet@enib.fr
http://www.enib.fr/~harrouet/

Rappels sur la compilation séparée

▷ Principe



◇ Génération des fichiers objets (compilation) :

○ `$ cc -c -o fichier.o -Iinc_dir fichier.c`

◇ Génération du programme exécutable (édition de liens) :

○ `$ cc -o prog *.o -Llib_dir -lAAA -lBBB`

Rappels sur la compilation séparée

- **Visibilité des symboles**
  - Les modules (`.o` , `.so` , `.a`) peuvent être interdépendants
    - Des *symboles* sont importés/exportés dans chacun d'eux
  - Bibliothèque ≡ ensemble de fichiers objets (`.o`)
    - Symboles d'une bibliothèque ≡ ensemble des symboles des `.o`
  - Édition de liens
    - Association des symboles importés et exportés
    - Vérification des doublons
    - Placement en mémoire
    - Données et traitements de démarrage
    - ...

Rappels sur la compilation séparée

- **Visibilité des symboles**
  - Symboles accessibles : les fonctions, les variables globales
    - Par défaut tout est exporté (sauf sous *Window$*)
    - Définition `static` → portée locale au `.o` courant
    - Importation d'un symbole par son accès (@/appel d'une fonction, @/lecture/écriture d'une variable)
  - Déclaration ≠ définition
    - `extern int i;` (déclaration d'une variable globale)
    - `int i;` (définition d'une variable globale)
    - `void f(int i);` (déclaration d'une fonction)
    - `void f(int i) { ... }` (définition d'une fonction)

Rappels sur la compilation séparée

- **Visibilité des symboles en langage *C***
  - Nom d'un symbole ≡ nom de la variable ou de la fonction
  - Aucune ambiguïté, information suffisante
- **Visibilité des symboles en langage *C++***
  - Variables globales : pas de problème
  - Fonctions : surcharge possible (plusieurs signatures pour le même nom)
    - Codage (non standard) de la signature dans le nom de symbole
  - Déclaration `extern "C"` d'une fonction
    - Nom de symbole ≡ nom de la fonction
    - Autorisé une seule fois pour un symbole donné
    - Nécessaire pour utiliser une bibliothèque écrite en *C* dans un programme écrit en *C++* (`#ifdef __cplusplus`)

Recherche de symboles dans les modules

- **L'utilitaire** `nm` (`man 1 nm`)
  - Disponible dans tout environnement de développement
    - Compilateur, assembleur, *linker*, débogueur ...
  - Affiche des informations concernant les symboles
    - Des fichiers objets
    - Des bibliothèques statiques
    - Des bibliothèques dynamiques
    - Des fichiers exécutables
  - Utilisation classique
    - *"Il manque un symbole à l'édition de liens !"*
    - *"Un symbole est défini à multiples reprises !"*
    - On le recherche parmi dans les bibliothèques disponibles

Recherche de symboles dans les modules

- **L'utilitaire** `nm`
  - `$ nm` *`[options] module`*
  - Options dépendantes du système
    - `-B` : affichage style *BSD* (standard)
    - `-D` : pour bibliothèques dynamiques
    - `-C` : décodage des symboles *C++*
  - Sortie : trois colonnes
    - Adresse, type (`T t D d B b U` ...) et nom du symbole
  - Exemple d'utilisation :

```
$ for i in lib* ; do
>   if ( nm -BD $i | grep "MON_SYMBOLE" ) ; then
>     echo "---> $i"
>   fi
> done
```

Recherche de symboles dans les modules

```
int SYMB_VAR1=100;
int SYMB_VAR2;
extern int SYMB_VAR3;
static int SYMB_VAR4=200;
static int SYMB_VAR5;

int SYMB_FNCT1(int i)
  { return i+SYMB_VAR1; }

extern "C" int SYMB_FNCT2(int i)
  { return i+SYMB_VAR2; }

extern int SYMB_FNCT3(int i);

static int SYMB_FNCT4(int i)
{
SYMB_VAR2=SYMB_FNCT1(1234);
SYMB_VAR3=SYMB_FNCT2(1234);
SYMB_VAR4=SYMB_FNCT3(1234);
SYMB_VAR5=SYMB_FNCT4(1234);
return i;
}
```

```
$ nm prog.o | grep SYMB
00000000 T SYMB_FNCT1__Fi
0000001c T SYMB_FNCT2
         U SYMB_FNCT3__Fi
00000038 t SYMB_FNCT4__Fi
00000000 D SYMB_VAR1
00000000 B SYMB_VAR2
         U SYMB_VAR3
00000004 d SYMB_VAR4
00000004 b SYMB_VAR5
```

```
T: TEXT global    t: TEXT local
D: DATA global    d: DATA local
B: BSS  global    b: BSS  local
U: undefined
```

Les bibliothèques statiques

▷ Utilisation d'une bibliothèque statique

- ◇ Généralement de la forme `lib`*`XXX`*`.a`
- ◇ Une simple collection de fichiers objets sur le même thème
  - ○ Inspectée à l'édition de liens
  - ○ Modules objets requis incorporés à l'exécutable
  - ○ Uniquement les modules nécessaires (découper au maximum)
- ◇ Édition de liens :
  - ○ `$ cc ... -l`*`XXX`* (pour `lib`*`XXX`*`.a`)
  - ○ Problème : recherche des bibliothèques dynamiques avant
  - ○ Utiliser l'option `-static` → pas de bibliothèques dynamiques
  - ○ Indiquer la bibliothèque *"en dur"* : `$ cc ... ./lib`*`XXX`*`.a` (considérée comme la liste de ses `.o`)

Les bibliothèques statiques

- **Avantages d'une bibliothèque statique**
  - L'exécutable est complètement autonome
  - Édition de lien réussie → fonctionnement immuable
- **Inconvénients d'une bibliothèque statique**
  - Duplication des modules dans l'exécutable
    - Consommation d'espace disque (gros exécutables)
    - Consommation de mémoire (pas de partage inter-processus)
  - Exécutable insensible aux mises à jour des bibliothèques utilitaires

Les bibliothèques statiques

- **Réalisation d'une bibliothèque statique**
  - Utiliser la commande `ar` (`man 1 ar`)
  - De nombreuses options ...
  - Commande usuelle : `$ ar cr lib`*XXX*`.a *.o`
    - `c` : créer à partir de rien
    - `r` : insertion inconditionnelle
  - Possibilités d'ajout, de retrait, de mise à jour ...
  - Création d'un index : `$ ranlib lib`*XXX*`.a`
    - Accélère l'édition de liens
    - Généralement facultatif (sauf sous *MacOSX*)

Les bibliothèques dynamiques

- **Utilisation d'une bibliothèque dynamique**
  - Généralement de la forme `lib`*`XXX`*`.so`
  - Une simple collection de fichiers objets sur le même thème
    - Inspectée à l'édition de liens
    - Références aux symboles incorporés à l'exécutable
  - Édition de liens :
    - `$ cc ... -l`*`XXX`* (pour `lib`*`XXX`*`.so`)
    - Bibliothèques dynamiques recherchées avant les statiques
    - Indiquer la bibliothèque *"en dur"* : `$ cc ... ./lib`*`XXX`*`.so`

Les bibliothèques dynamiques

- **Avantages d'une bibliothèque dynamiques**
  - Pas de duplication du code
    - Fichiers exécutables de petite taille
    - Chargées une seule fois en mémoire
      (partagées entre tous les processus qui en ont besoin)
  - Exécutables sensibles aux mises à jour
- **Inconvénients d'une bibliothèque dynamiques**
  - Être capable de retrouver la bibliothèque au lancement
  - Possibilité de *"casser"* d'anciens programmes

Les bibliothèques dynamiques

- **Réalisation d'une bibliothèque dynamique**
  - Utiliser le compilateur habituel avec l'option `-shared`
    - Exactement comme la génération d'un exécutable
    - Génère uniquement une bibliothèque dynamique
    - Pas besoin de `main()` ...
  - Exemple :
    `$ cc -shared -o lib`*`XXX`*`.so *.o`
  - Réduire la taille de la bibliothèque (`man 1 strip`)
    - Retirer les symbole inutiles (débogages ...)
    - Commande : `$ strip -s lib`*`XXX`*`.so`

Les bibliothèques dynamiques

- **Retrouver les bibliothèques dynamiques au lancement**
  - Préciser des répertoires non-standards
    `$ export LD_LIBRARY_PATH=$HOME/lib:/usr/local/`*`XXX`*`/lib`
    - Utile pendant la phase de développement de la bibliothèque
    - Solution temporaire, installation finale dans un répertoire standard
  - Répertoires standards implicites (`/usr/lib`, `/usr/X11R6/lib` ...)
- **Le préchargement de symboles**
  - Forcer le préchargement des symboles de bibliothèques spécifiques
  - `$ LD_PRELOAD="./lib`*`XXX`*`.so ./lib`*`YYY`*`.so" ./prog`
  - `prog` ne cherche pas ces symboles dans les autres bibliothèques
  - Permet de choisir une implémentation particulière parmi plusieurs
    - Mesures de performances, débogage ...

Les bibliothèques dynamiques

- **Lister les dépendances**
  - Commande `ldd`
  - Affiche les bibliothèques dynamiques associées au chargement
    - d'un programme dynamiquement lié
    - d'une bibliothèque dynamique

```
$ ldd ./prog
        libfunction.so => not found
        libstdc++-libc6.1-2.so.3 => /usr/lib/libstdc++-libc6.1-2.so.3 (0x40019000)
        libm.so.6 => /lib/libm.so.6 (0x40068000)
        libc.so.6 => /lib/libc.so.6 (0x40086000)
        /lib/ld-linux.so.2 => /lib/ld-linux.so.2 (0x40000000)
$ export LD_LIBRARY_PATH=.
$ ldd ./prog
        libfunction.so => ./libfunction.so (0x40014000)
        libstdc++-libc6.1-2.so.3 => /usr/lib/libstdc++-libc6.1-2.so.3 (0x4001b000)
        libm.so.6 => /lib/libm.so.6 (0x4006a000)
        libc.so.6 => /lib/libc.so.6 (0x40088000)
        /lib/ld-linux.so.2 => /lib/ld-linux.so.2 (0x40000000)
```

Mise en œuvre de bibliothèques dynamiques

```
$ g++ -c f1.cpp
$ g++ -c f2.cpp
$ g++ -c f3.cpp
$ g++ -shared -o libfunction.so f1.o f2.o f3.o
$ g++ -c prog.cpp
$ g++ -o prog prog.o -L. -lfunction
$ ./prog
./prog: error in loading shared libraries: libfunction.so: cannot open
shared object file: No such file or directory
$ export LD_LIBRARY_PATH=.
$ ./prog
f1()
f2()
f3()
$ g++ -c newf1.cpp
$ g++ -c newf3.cpp
$ g++ -shared -o libnewf1f3.so newf1.o newf3.o
$ LD_PRELOAD=./libnewf1f3.so ./prog
new f1()
f2()
new f3()
$
```

Chargement dynamique de symboles

- **Principe**
  - Charger des ressources (code et données) à la demande
    - Ressources initialement inconnues
    - Choisies lors de l'exécution du programme
    - Dans des bibliothèques dynamiques
    - Chargées et déchargées explicitement
  - $\neq$ édition de liens habituelle
    - Liste de bibliothèques à charger au démarrage
    - Chargées implicitement
    - Chargées pour toute la durée de l'exécution
  - Donner des possibilités d'extension à une application
    - Principe des *plug-ins*

Chargement dynamique de symboles

- **Démarche de mise en œuvre**
  - `#include <dlfcn.h>` (`man 3 dlopen`)
  - Ouverture avec `dlopen()` (`dlerror()` en cas d'échec)
  - Accès aux symboles avec `dlsym()` (`dlerror()` en cas d'échec)
  - Fermeture avec `dlclose()`
  - Les symboles obtenus avec `dlsym()` deviennent inaccessibles
- **Réalisation du programme initial**
  - Édition de liens avec `-ldl`
  - Édition de liens avec l'option `-rdynamic` (sous *Linux*)
    - Permet au code du *plugin* d'accéder au code initial
    - C'est généralement nécessaire
    - Sans cette option il faudrait mettre le code initial dans une bibliothèque dynamique pour la lier au *plugin*

Chargement dynamique de symboles

- **La fonction** `dlopen()`
  - `void * dlopen(const char * path,int mode);`
  - `path` : bibliothèque à charger dans l'espace d'adressage
    - Recherche classique ou chemin absolu/relatif
    - Pointeur nul → code initial (global)
  - `mode` : mode d'ouverture (ou bit à bit)
    - `RTLD_LAZY` : ne résoudre qu'à l'appel des fonctions
    - `RTLD_NOW` : résoudre toutes les fonctions au chargement
    - `RTLD_GLOBAL` : symboles inserés dans le code inital
    - `RTLD_LAZY` et `RTLD_NOW` sont exclusifs
    - Démarche prudente généralement adoptée : `RTLD_LAZY`
  - Retour : pointeur sur la bibliothèque chargée (nul si erreur)
  - Erreurs : voir `dlerror()` plus loin

Chargement dynamique de symboles

- **La fonction** `dlsym()`
  - `void * dlsym(void * handle,const char * name);`
  - Recherche le symbole `name` dans la bibliothèque `handle`
  - `handle` : préalablement obtenu par `dlopen()`
  - `name` : nom du symbole tel qu'affiché par `nm`
    - Penser à `extern "C"` pour les fonctions en *C++*
  - Retour : pointeur sur le symbole (nul si erreur)
  - Erreurs : voir `dlerror()` plus loin
  - Aucune vérification de type !
    - Convertir en pointeur sur le type de donnée attendue
    - Une donnée ? De quel type ?
    - Une fonction/méthode ? Quelle signature ?
  - nb : pour *ISO C* @fonction $\not\equiv$ `void *` !!! $\rightarrow$ `memcpy()`

Chargement dynamique de symboles

- **La fonction** `dlerror()`
  - `char * dlerror(void);`
  - Fournit un message d'erreur sur la dernière opération `dl???()`
  - Retour : le message **alloué statiquement** ou pointeur nul si ok
  - Recopier ou afficher la chaîne immédiatement
  - N'invoquer qu'une fois de suite (deuxième fois → ok)
- **La fonction** `dlclose()`
  - `int dlclose(void * handle);`
  - Déréférence `handle` préalablement obtenu par `dlopen()`
  - Cette bibliothèque n'est plus accessible par le processus
  - Retour : `0` si ok, sinon voir `dlerror()`

Chargement dynamique de symboles

```
$ cat prog.cpp
#include <dlfcn.h>
#include <stdio.h>
#include <string.h>
int nb=0;
typedef void (*FnctPtr)(void);
int main(void)
{
void * lib=dlopen("libdltest.so",RTLD_LAZY);
if(lib)
  {
  void * symb=dlsym(lib,"value");
  if(symb) *((int *)symb)=0xDEADBEEF;
  else fprintf(stderr,"%s\n",dlerror());
  symb=dlsym(lib,"function");
  FnctPtr fnct;
  memcpy(&fnct,&symb,sizeof(void*));
  if(fnct) (*fnct)();
  else fprintf(stderr,"%s\n",dlerror());
  dlclose(lib);
  }
else fprintf(stderr,"%s\n",dlerror());
return 0;
}
$ cat dltest.cpp
#include <stdio.h>
extern int nb; // dans prog.cpp
int value=0;
extern "C" void function(void)
{
printf("function() value=%x\n",value);
nb++;
}
$ g++ -o prog prog.cpp -ldl -rdynamic
$ g++ -shared -o libdltest.so dltest.cpp
$ ./prog
libdltest.so: cannot open shared object
file: No such file or directory
$ export LD_LIBRARY_PATH=.
$ ./prog
function() value=deadbeef
$
```

Chargement dynamique de symboles

```
#include <dlfcn.h>
#include <stdio.h>

int nb=0;

int main(int argc,char ** argv)
{
void * global=dlopen((const char *)0,RTLD_LAZY);
void * lib=dlopen("libdltest.so",RTLD_LAZY | (argc>1 ? RTLD_GLOBAL : 0));
if(lib)
  {
  void * symb=dlsym(lib,"function");
  if(symb) fprintf(stderr,"symbol found in library\n");
  else fprintf(stderr,"%s\n",dlerror());
  symb=dlsym(global,"function");
  if(symb) fprintf(stderr,"symbol found in global context\n");
  else fprintf(stderr,"%s\n",dlerror());
  dlclose(lib);
  }
else fprintf(stderr,"Loading %s\n",dlerror());
dlclose(global);
return 0;
}
```

Chargement dynamique de symboles

▷ Effet de `-rdynamic` (*Linux*) et `RTLD_GLOBAL`

```
$ export LD_LIBRARY_PATH=.
$
$ g++ -o prog prog.cpp -ldl
$
$ ./prog
Loading ./libdltest.so: undefined symbol: nb
$
$ g++ -o prog -rdynamic prog.cpp -ldl
$
$ ./prog
symbol found in library
./prog: undefined symbol: function
$
$ ./prog RTLD_GLOBAL
symbol found in library
symbol found in global context
$
```

Spécificités de certains systèmes

▷ **Sous** *MacOSX*

◇ `ranlib` obligatoire pour les bibliothèques statiques

◇ Nom standard des bibliothèques dynamiques : `lib`*`XXX`*`.dylib`

◇ Bibliothèque dynamique $\not\equiv$ *plugin* (*bundle*)

```
$ g++ -flat_namespace -o prog ...
$ g++ -flat_namespace -dynamiclib -o libXXX.dylib ...
$ g++ -flat_namespace -bundle -o libXXX.dylib ...
```

◇ Pas d'option `-rdynamic` $\rightarrow$ mettre l'appli dans une bibliothèque

◇ `otool -L` *`binaire`* au lieu de `ldd` *`binaire`*

◇ `DYLD_LIBRARY_PATH` au lieu de `LD_LIBRARY_PATH`
(`DYLD_LIBRARY_PATH` $\rightarrow$ répertoires standards $\rightarrow$ `.`)

◇ `DYLD_INSERT_LIBRARIES` au lieu de `LD_PRELOAD`

Spécificités de certains systèmes

▷ **Sous** *Window$*

◇ Nom standard des bibliothèques statiques : *XXX*`.lib`

```
> lib.exe /out:XXX.lib XXX.obj
```

◇ Nom standard des bibliothèques dynamiques : *XXX*`.dll`

◇ Édition de liens avec un fichier `.lib` (pas `.dll` !) créé en même temps

```
> link.exe /dll /out:XXX.dll /implib:XXX.lib XXX.obj
> link.exe /out:prog.exe prog.obj XXX.lib
```

◇ Pas d'option `-rdynamic` → mettre l'appli dans une bibliothèque

◇ `dumpbin.exe /exports` *binaire* au lieu de `nm` *binaire*

◇ `dumpbin.exe /dependents` *binaire* au lieu de `ldd` *binaire*
(chemins non indiqués !)

◇ `PATH` au lieu de `LD_LIBRARY_PATH`
(répertoire du `.exe` → répertoires `C:\WINDOWS\...` → `.` → `PATH`)

◇ Pas de `LD_PRELOAD` (éventuellement *Detours* mais modif. binaires !)

Spécificités de certains systèmes

- **Sous** *Window$*
  - Pas d'export/import par défaut dans les bibliothèques dynamiques !
  - Exportation explicite pour réaliser la bibliothèque :
    - `__declspec(dllexport) void MyFnct(void);`
    - `class __declspec(dllexport) MyClass { ... };`
  - Importation explicite pour utiliser la bibliothèque :
    - `__declspec(dllimport) void MyFnct(void);`
    - `class __declspec(dllimport) MyClass { ... };`
  - Nécessiterait de faire les `.h` en double !!!
    - Utilisation d'un jeu de *macros* astucieux
    - Controlé depuis le `makefile` (ou autre)

Spécificités de certains systèmes

▷ **Sous** *Window$*

◇ Exemple de fichier `.h` pour une bibliothèque dynamique (ou un *plugin*)

```
#ifdef _WIN32
#  ifdef WIN32_EXAMPLE_DLL
#    define WIN32_EXAMPLE_API __declspec(dllexport)
#  else
#    define WIN32_EXAMPLE_API __declspec(dllimport)
#  endif
#else
#  define WIN32_EXAMPLE_API
#endif

class WIN32_EXAMPLE_API MyClass // classe exportee par la bibliotheque
{ /* ... */ };

WIN32_EXAMPLE_API void myFunction(void); // fonction exportee par la bibliotheque

extern "C" WIN32_EXAMPLE_API void myPluginFnct(void); // point d'entree d'un plugin
```

Spécificités de certains systèmes

- **Sous** *Window$*
  - Réalisation/utilisation d'une bibliothèque dynamique
  - Les fichiers `.cpp` incluent le `.h` précédent
  - Option `/D` utilisée ou non à la compilation
    → influencer notre *macro* `WIN32_EXAMPLE_API`

```
# realisation de la bibliotheque dynamique example.dll
> cl.exe /c /DWIN32_EXAMPLE_DLL /FoexA.obj exA.cpp
> cl.exe /c /DWIN32_EXAMPLE_DLL /FoexB.obj exB.cpp
> link.exe /dll /out:example.dll /implib:example.lib exA.obj exB.obj

# realisation du programme prog utilisant de la bibliotheque dynamique example.dll
> cl.exe /c /Foprog.obj prog.cpp
> link.exe /out:prog.exe prog.obj example.lib
```

Spécificités de certains systèmes

- **Sous** *Window$*
  - `LoadLibrary()`, `GetProcAddress()`, `FreeLibrary()` au lieu de `dlopen()`, `dlsym()`, `dlclose()`

```
#include <stdio.h>
#include <windows.h>
int main(void)
{
HINSTANCE lib=LoadLibrary("example.dll");
if(lib)
  {
  void (*fnct)(void)=(void (*)(void))GetProcAddress(lib,"myPluginFunction");
  if(fnct) (*fnct)();
  else fprintf(stderr,"GetProcAddress: %d\n",GetLastError());
  FreeLibrary(lib);
  }
else fprintf(stderr,"LoadLibrary: %d\n",GetLastError());
return 0;
}
```