

Programmation « orientée système »

LANGAGE C – BIBLIOTHÈQUES

Jean-Cédric Chappelier

Laboratoire d'Intelligence Artificielle
Faculté I&C

Objectifs du cours d'aujourd'hui

- ▶ présentation générale (survol) des bibliothèques C

Bibliothèques standard

Les bibliothèques standard (d'outils) C **facilitent la programmation**.

Les outils standards C(89 et 95) sont constitués des 18 « paquets » suivants :

<code><assert.h></code>	tests d'assertions pendant l'exécution (désactivés par <code>#define NDEBUG</code>)
<code><ctype.h></code>	divers tests/traitements sur les caractères
<code><errno.h></code>	code d'erreurs retournés dans la bibliothèque standard
<code><float.h></code>	diverses informations sur la représentation des réels
<code><iso646.h></code> (C95)	écriture texte des opérateurs logiques (<code>and</code> , <code>or</code> , ...), digraphes et trigraphes
<code><limits.h></code>	divers tests sur les entiers
<code><locale.h></code>	adaptation à diverses langues
<code><math.h></code>	divers définitions mathématiques
<code><setjmp.h></code>	branchement non locaux
<code><signal.h></code>	contrôle des signaux (processus)
<code><stdarg.h></code>	nombre variables d'arguments
<code><stddef.h></code>	diverses définitions (types et macros)
<code><stdio.h></code>	entrées sorties de base
<code><stdlib.h></code>	diverses opérations de base utiles
<code><string.h></code>	manipulation des chaînes de caractères à la C
<code><time.h></code>	diverses conversions de date et heures
<code><wchar.h></code> (C95)	caractères étendus (« wide chars »), genre UTF-8 (et leurs chaînes)
<code><wctype.h></code> (C95)	classification des codes de caractères étendus

Bibliothèques standard

Les standards C99 et C11 ajoutent les 11 « paquets » suivants :

<code><complex.h></code> (C99)	nombres complexes
<code><fenv.h></code> (C99)	outils pour tester/manipuler les états des nombres à virgule flottante
<code><inttypes.h></code> (C99)	macros pour les <code>stdint</code>
<code><stdbool.h></code> (C99)	booléens
<code><stdint.h></code> (C99)	entiers de tailles définies (<code>int8_t</code> , etc.)
<code><tgmath.h></code> (C99)	« type generic » macro wrapper pour <code>math.h</code> et <code>complex.h</code>
<code><stdalign.h></code> (C11)	macro pour alignement mémoire de <code>struct</code>
<code><stdatomic.h></code> (C11)	types atomiques (multi-threading)
<code><stdnoreturn.h></code> (C11)	<code>noreturn</code> macro pour fonctions
<code><threads.h></code> (C11)	multi-threading
<code><uchar.h></code> (C11)	UTF-16 & UTF-32

Quelques outils de `stdlib.h`

`<stdlib.h>` est la « bibliothèque standard » de C.

En plus de `malloc`, `realloc` et `free` (déjà vus), de nombreux utilitaires y sont définis, dont les

- ▶ nombres aléatoires,
- ▶ des fonctions de `conversion de chaînes`,
- ▶ et une `fonction de tri qsort` (déjà vue deux fois).

Nombres aléatoires

La génération de nombres au hasard sur ordinateur se fait avec des générateurs dit « **pseudo-aléatoires** » qui pour une valeur initiale donnée (appelée « **graine** » [« seed » en anglais]) donnent toujours la **même** séquence « aléatoire ».
(Cela peut être utile pour déverminer un programme utilisant des nombres aléatoires.)

`int rand()` retourne un nombre au hasard entre 0 et `RAND_MAX`

et `void srand(unsigned int seed)` sert à initialiser la graine.

Pour avoir une série de nombres aléatoires différente à chaque utilisation du programme, il faut utiliser une graine différente à chaque fois.

Cela se fait souvent en utilisant comme graine la valeur de l'horloge de l'ordinateur à cet instant :

```
#include <time.h>
#include <stdlib.h>
// ...
srand(time(0));
// ...
```

Nombres aléatoires (2)

MAIS `rand` est connu pour être un **mauvais générateur aléatoire**

Dans des applications critiques (e.g. cryptographie), on cherchera donc à utiliser d'autres outils (non standards) [vaste sujet]

Si la machine le permet (non standard non plus), on préférera également utiliser `random`, un générateur uniforme de nombres **entiers**, et `drand48` un générateur uniforme de nombres **réels** dans $[0, 1[$.

Autres outils de `stdlib.h`

On trouve aussi dans `stdlib` (au lieu de `math`!!), les fonctions « valeur absolue » pour les entiers :

```
int abs(int)
```

```
et long int labs(long int)
```

et diverses fonctions de conversion de chaînes (au lieu d'être dans `string`!!)

```
double atof(char const* s)   convertit en double le nombre écrit dans s
```

```
int atoi(const char* s)      convertit en int le nombre écrit dans s
```

```
long int atol(const char* s) convertit en long int le nombre écrit dans s
```

Détails de `math.h`

Voici quelques fonctions définies dans la bibliothèque `math`.

Toutes ces fonctions prennent un/des argument(s) `double` et retournent un `double`

<code>acos</code>	<code>arccos</code>
<code>asin</code>	<code>arcsin</code>
<code>atan</code>	<code>arctan</code>
<code>ceil</code>	$\lceil x \rceil$, entier supérieur
<code>cos</code>	<code>cos</code>
<code>cosh</code>	cosinus hyperbolique
<code>exp</code>	<code>exp</code>
<code>fabs</code>	valeur absolue
<code>floor</code>	$\lfloor x \rfloor$, entier inférieur
<code>fmod(x,y)</code>	<code>x % y</code> mais pour des <code>double</code>
<code>log</code>	\ln , logarithme népérien
<code>log10</code>	\log , logarithme en base 10
<code>pow(x,y)</code>	$x^y = \exp(y \ln x)$
<code>sin</code>	<code>sin</code>

math.h (2)

<code>sinh</code>	sinus hyperbolique
<code>sqrt</code>	$\sqrt{\quad}$
<code>tan</code>	tan
<code>tanh</code>	tangente hyperbolique

En cas d'erreur (domaine d'application, dépassement dans la capacité par excès (valeurs trop grandes ou « `overflow` ») ou par défaut (valeurs trop petites, ou « `underflow` »), arrondi), divers comportements sont possibles suivant la configuration de la machine.

Depuis C99, deux mécanismes de report d'erreur sont possibles :

- ▶ `errno` (dont nous avons déjà parlé)
- ▶ et les « *floating-point exceptions* » de la bibliothèque `fenv`.

Le résultat en cas d'erreur dépend de la fonction (et est souvent non spécifié (« *implementation-defined* »)).

Si c'est un « *overflow* », la valeur `HUGE_VAL` est retournée.

math.h : erreurs

La configuration de report de messages d'erreur peut être testée à l'aide de la macro `math_errhandling` définie dans `math.h` :

▶ `math_errhandling & MATH_ERRNO` est vrai si `errno` est utilisé

▶ `math_errhandling & MATH_ERREXCEPT` est vrai si `fenv` est utilisé

(les deux peuvent être vrais).

cas d'erreur	exemples	errno	fetestexcept()
pôle	<code>1.0 / 0.0, log(0.0)</code>	ERANGE	FE_DIVBYZERO
argument hors du domaine de définition	<code>sqrt(-1.0)</code> <code>asin(1.5)</code>	EDOM	FE_INVALID
« overflow »	<code>DBL_MAX + 1</code>	ERANGE	FE_OVERFLOW
« underflow »	<code>DBL_TRUE_MIN / 2.0</code>	inchangée ou ERANGE (« <i>i.-d.</i> »)	FE_UNDERFLOW ou pas (« <i>i.-d.</i> »)
arrondi (valeur non exactement représentable)	<code>1.0 / 10.0</code> <code>sqrt(2.0)</code>	inchangée	FE_INEXACT ou pas (« <i>i.-d.</i> »)

i.-d. = *implementation-defined*

math.h : exemple errno et MATH_ERRNO

```

/* sur une machine où math_errhandling & MATH_ERRNO
 *          et math_errhandling & MATH_ERREXCEPT sont vrais. */

void f(double x) {
    // toujours remettre à 0 avant de les utiliser (pour les maths)
    feclearexcept(FE_ALL_EXCEPT);
    errno = 0;

    printf("1/x = %g\n", 1.0 / x);
    show_errno();
    show_fe_exceptions();
}

// ...          // résultat  errno  fetestexcept(?)
f(2.0);         // 0.5        0      all 0
f(10.0);        // 0.1        0      FE_INEXACT
f(DBL_MAX);     // 5.6e-309  0      FE_INEXACT FE_UNDERFLOW
f(DBL_MIN);     // 4.5e+307  0      all 0
f(1.0/DBL_MAX); // inf       0      FE_INEXACT FE_OVERFLOW
f(DBL_TRUE_MIN); // inf      0      FE_INEXACT FE_OVERFLOW
f(0.0);         // inf       0 [??] FE_DIVBYZERO

log( 0.0);      // -inf     ERANGE FE_DIVBYZERO
log(-1.0);     // -NaN     EDOM   FE_INVALID

```

float.h (Rappel)

constante	description	exemple de valeur
<code>DBL_DIG</code>	nombre de caractères significatifs	15
<code>DBL_EPSILON</code>	plus petite valeur x telle que $1 + x \neq 1$	2.22045e-16
<code>DBL_MAX</code>	plus grande valeur représentable sur un <code>double</code>	1.79769e+308
<code>DBL_MIN</code>	plus petite valeur <i>normalisée</i> représentable sur un <code>double</code>	2.22507e-308
<code>DBL_TRUE_MIN</code> (C11)	plus petite valeur représentable sur un <code>double</code>	4.94066e-324

limits.h (Rappel)

constante	description	exemple de valeur
CHAR_BIT	nombre de bits dans un char	8
UCHAR_MAX	plus grande valeur représentable dans un <code>unsigned char</code>	255
SCHAR_MAX	idem pour un <code>signed char</code>	127
SCHAR_MIN	plus petite valeur <code>signed char</code>	-128
LONG_MAX		2147483647
LONG_MIN		-2147483648
INT_MAX		2147483647
INT_MIN		-2147483648
SHRT_MAX		32767
SHRT_MIN		-32768
ULONG_MAX		4294967295
UINT_MAX		4294967295
USHRT_MAX		65535

ctype.h

Quelques fonctions de `ctype` :

<code>int isalnum(int c);</code>	<code>isalpha(c) isdigit(c)</code>
<code>int isalpha(int c);</code>	<code>isupper(c) islower(c)</code>
<code>int iscntrl(int c);</code>	caractère de contrôle
<code>int isdigit(int c);</code>	un chiffre ([0-9])
<code>int isgraph(int c);</code>	<code>isprint(c) && !isspace(c)</code>
<code>int islower(int c);</code>	lettre minuscule
<code>int isprint(int c);</code>	caractère affichable
<code>int ispunct(int c);</code>	<code>isgraph(c) && !isalpha(c)</code>
<code>int isspace(int c);</code>	une « espace » (TAB, à-la-ligne, blanc)
<code>int isupper(int c);</code>	lettre majuscule
<code>int isxdigit(int c);</code>	chiffre ou [a-fA-F]
<code>int tolower(int c);</code>	convertit <code>c</code> en minuscule (si approprié)
<code>int toupper(int c);</code>	convertit <code>c</code> en majuscule

locale.h

Cette bibliothèque sert à gérer les spécificités de format et caractères propres aux langues

par exemple pour modifier le comportement des fonctions précédentes (`is...`)

```
char* setlocale(int category, const char* locale);
```

permet de définir le type de langue utilisé

`category` peut valoir

<code>LC_ALL</code>	tous les aspects à la fois
<code>LC_COLLATE</code>	règles pour caractères composés (e.g. accents)
<code>LC_CTYPE</code>	classe de caractères, conversion, comparaison majuscules/minuscules, ...
<code>LC_MESSAGES</code>	messages (dans la langue précisée)
<code>LC_MONETARY</code>	format monétaire
<code>LC_NUMERIC</code>	format des nombres (e.g. 1'234)
<code>LC_TIME</code>	formats date et heure

« locale » usuels : `"C"`, `"en"`, `"french"`, `"en.utf8"`

locale.h (2)

Exemple d'utilisation :

```
char* test;
char locale[] = "french";

test = setlocale(LC_ALL, locale);
if (test == NULL) {
    fprintf(stderr, "setlocale
failed for %s.\b\n", locale);
    perror("Message");
    return 1;
}
```

Exemples d'effets :

en locale "C" :

isalpha('é') ➡ faux

toupper('é') ➡ é

en locale "french" :

isalpha('é') ➡ vrai

toupper('é') ➡ É

stdarg.h : introduction

La surcharge n'existant pas en C, c'est bien la **MÊME** fonction `printf()` que vous utilisez quand vous faites :

```
printf("Bonjour !\n");           // 1 argument
printf("J'ai %u ans.\n", age);   // 2 arguments
printf("J'habite %s, %u\n", rue, num); // 3 arguments
// ...
```

Comment est-ce possible ?

stdarg.h

La bibliothèque `stdarg` permet de définir des fonctions avec un nombre variable d'arguments.



Attention ! On peut vite faire des bêtises avec cela. À **n'utiliser qu'avec précaution !**

`va_list` est le type « nombre variable d'arguments »

`va_start(va_list, nom)` permet de définir où ils commencent (après l'argument `nom` de la fonction)

et on doit utiliser `va_end(va_list)` une fois le traitement des arguments terminé

`type va_arg(va_list, type)` renvoie la valeur de l'argument désigné, lu comme un pointeur sur `type`

et passe à l'argument suivant



Attention ! Ce sont des **macros !** (avec tout ce que cela implique sur l'évaluation de leur arguments)

stdarg.h (2)

Exemple :

```
void affiche_doubles(size_t nb_args, ...)
{
    va_list arguments;
    va_start(arguments, nb_args);

    for (size_t i = 0; i < nb_args; ++i) {
        printf(" %f\n", va_arg(arguments, double));
    }

    va_end(arguments);
}
// ...
f(2, 3.1, 4.5);
f(3, 233.11, 333.22, 444.18);
```

stdarg.h (3)

Autre exemple classique : faire sa propre variante de `printf`

```
int monprintln(const char* format, ...)
{
    va_list arguments;
    va_start(arguments, format);

    int retour = printf("dans mon printf on écrit : ");
    retour += vfprintf(stdout, format, arguments);
    putchar('\n'); ++retour;

    va_end(arguments);
    return retour;
}
```

Conclusion

Ici se termine donc notre apprentissage du C.

Il reste encore de nombreux aspects à approfondir, notamment la gestion des processus, des threads, ...

mais cela sera vu dans le cours de « [systèmes d'exploitation](#) ».

Pour continuer à progresser en C

Sujets non (ou peu) abordés dans ce cours d'introduction :

- ▶ toutes les bibliothèques non présentées
- ▶ les `bitfields` et les opérateurs `&`, `|`, `^`, `<<`, `>>`
- ▶ autres modificateurs de déclaration (on a vu `const` et `extern`) :
`static`, `register`, `(auto,)` `inline`, `restrict`, `volatile`
- ▶ les directives `#if`, `#line`, `#error`, `#pragma`
- ▶ les digraphes (C99) : `<:, :>`, `<%, %>`, `%, :`, `%, %`