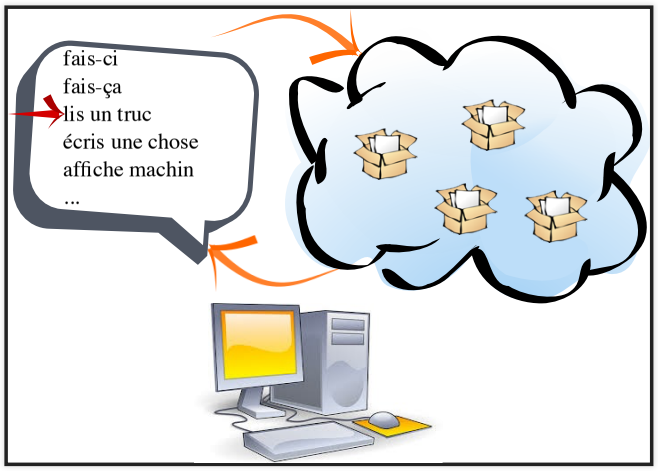
PROGRAMMATION IMPÉRATIVE (PG101/PG108/PG109/IF112)

LANGAGE C

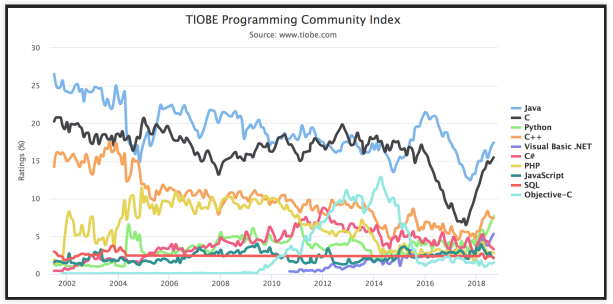
Floréal Morandat

http://www.labri.fr/~fmoranda/pg101/

PROGRAMMATION IMPÉRATIVE



POURQUOI C ?



- Toujours autant utilisé
- Privilégié pour sa proximité avec le système
- Portable (... enfin, il faut le dire vite)
- Utilisé pour les systèmes contraints

HISTOIRE

- Inventé en 1972 (Dennis Ritchie, Bell Labs)
- Spécification : C K&R (1978)
- Normalisation ANSI : Ansi C / C89 (1989-1990)
- **Normalisation ISO : C99 (1999)**
- Mise-à-jour : C11 (ou C1x) (2011)

CARACTÉRISTIQUES DU C

- Langage compilé
- Typage statique
- (Assez) fortement typé
- "Haut" niveau (mais le plus bas)
- Gestion de la mémoire explicite
- Pas de surcoût à l'exécution
  - Il ne fait rien d'autre que ce que vous lui dites!

MON PREMIER PROGRAMME

example-01.c

```c
#include <stdio.h>

/*
  This program prints ``Hello world''
*/
int main(int argc, char *argv[])
{
  printf("Hello world\n");
  return 0;
}
```

Compiler et exécuter

```
# Pour compiler example-01.c en example-01
cc -std=c99 -Wall -o example-01 example-01.c
# Pour executer
./example-01
```


OPTIONS DE COMPILATION

`-o <output>`	nom du programme généré
`-Wall`	Montre plus d'erreurs
`-std=c99`	active la norme C99
`-Werror`	attention => erreurs

AIDE

L'aide est en général dans la section 3 du manuel :

```
# Affiche l'aide de printf (3)
man 3 printf
```


S'IL VOUS PLAÎT

- Utilisez un VRAI éditeur de texte (emacs, vim, atom, ...)
- Mettez de la couleur
- Utilisez l'indentation automatique
- Restez cohérent
- Utilisez des noms évocateurs
- Respecter l'espacement
- Testez régulièrement
- Commentez (et en anglais c'est mieux !)

- Non respect = Non lecture

LA TRILOGIE

Type

Toute valeur à un type

- Forme/taille de la case mémoire
- Pour le moment : `int`

Expression

Évaluable (produit une valeur) => type

Instruction

Exécutable => pas de type

TABLE DE PRÉCÉDENCE

Opération	Description	Assoc
()	Groupe	
* / %	Multiplier, diviser, modulo (reste)	G
+ -	Addition, soustraction (binaire)	G
> >= < <=	Plus grand (ou égal) Plus petit (ou égal)	G
== !=	Égalité, différence (non égalité)	G
=	Affectation	D

EXPRESSIONS

- Évaluable => Valeur
- Typé

- Constante
- Variable
- Expression composée (principalement arithmétique)
- Appel de fonction

VARIABLES

- Espace mémoire nommés
  - Typés
- Format
  - première lettre : [a-zA-Z_] (svp pas de _)
  - les autres : [a-zA-Z0-9_]
  - Maximum : 64 caractères
  - ATTENTION : a != A

SYNTAXE

- Déclaration de variable :
  `type nom`
  `type nom = expr`
- RQ: Pour le moment le type est `int` (entiers)
- Utilisation :
  `nom`
- Valable après la déclaration
  Jusqu'à l'accolade fermante

EXEMPLES

- Expression
- Déclaration de variable
- Structure conditionnelle (test)
- Structure répétitive (boucle)
- Retourner une valeur
- Rien

INSTRUCTIONS

- Instruction simple
  Se termine par un `;`
- Bloc d'instructions
  `{ instructions }`
  RQ: ne termine pas par un `;`

STRUCTURE CONDITIONNELLE

```
if (expression)
  instruction
```

```
if (expression)
    instruction
else
    instruction
```

- Si l'`expression` est vraie
  alors on exécute l'`instruction`
  sinon on exécute l'`autre instruction`
- !!! Attention à l'imbrication !!!
- `else` se réfère au `if` le plus proche
- Conseil: utilisez les `{}`

EXEMPLE

example-02.c

```c
#include <stdio.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    int a = 5;
    int b = 3;
    int res;

    if (a > b) // Ces () sont OBLIGATOIRES
        res = a;
    else
        res = b;

    printf("Le max est: %d\n", res);
    return res;
}
```


EXEMPLE

example-03.c

```c
#include <stdio.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
    int a = 5;
    int b = 3;
    int res = 0;

    while (b > 0) {
        res = res + a;
        b = b - 1;
    }

    printf("Le produit est: %d\n", res);
    return res;
}
```


STRUCTURE RÉPÉTITIVE

```
while (expression)
    instruction
```

- Tant que `expression` est vraie
  faire `instruction`
- !!! Attention, l'éternité c'est long vers la fin !!!
- Conseil: utilisez les `{}`

FONCTIONS

- Déclaration de fonction :
  `type nom() { }`
  ou
  `type nom(type nom_param1, ...) { }`
- Pour le moment type est `int` (entiers) ou `void` (néant)
- Si la fonction a un type de retour,
  elle DOIT se terminer par un `return`
- Les paramètres sont copiés: passage par valeur
- Utilisation, dit *Appel*, de fonction :
  `nom()` ou `nom(arg1, ...)`

EXEMPLE

example-04.c

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

```c
int max(int a, int b)
{
    if (a > b)
        return a;
    return b;
}

int main(int argc, char* argv[])
{
    int a = 5;
    int b = 3;
    printf("Le max de %d et %d est: %d\n", a, b, max(a, b));
    return 0;
}
```


Exemple : max

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

```c
int max(int a, int b)
{
  if (a > b)
    return a;
  return b;
}
```

```c
int max_tableau(int taille, int tableau[])
{
  int resultat = tableau[0];
  int i = 1;
  while (i < taille) {
    resultat = max(resultat, tableau[i]);
    i = i + 1;
  }
  return resultat;
}
```

```c
int main(int argc, char *argv[])
{
  int tab[4] = { 10, 40, 42, 20 };
  int res = max_tableau(4, tab);
  printf("Max du tableau: %d\n", res);
  return 0;
}
```


TABLEAUX

- Notation []
- Commencent à 0
- Doivent avoir une longueur à l'initialisation
  JAMAIS pour les paramètres
- Pas de primitive longueur !!!
- Bornes non vérifiées !!!
- Pas de copies
- Ne peuvent pas être retournés

```c
int tableau[10];
```

```c
int tableau[10] = { 1, 2, 42 };
```


COMMENTAIRES

- Pas de paraphrase de code
- Commentaires multi-lignes
  commencent par `/*`
  finissent au PREMIER `*/`
- Commentaires mono-lignes (depuis c99) Commencent par `//`
  finissent à la fin de la ligne
- Conseil: Laissez vous des notes:
  `// TODO penser à écrire cette fonction`

FONCTIONS ET PROTOTYPES

- deux fonctions paire et impaire qui doivent mutuellement se voir.
- Solution: prototype (ou déclaration anticipée)

```c
int pair(int n);
int impair(int n);
```

```c
int pair(int n)
{
    if (n == 0) return 1;
    return impair(n - 1);
}

int impair(int n)
{
    if (n == 0) return 0;
    return pair(n - 1);
}
```


CHAÎNES DE CARACTÈRES

- Tableaux de char (i.e., `char chaine[]`)
  - donc longueur inconnue !
- Généralement terminées par un 0 (zero terminated string)
- Constantes : `"Ceci est une chaine constante"`
- Le format (pour `printf`) : `%s`
- Par convention, on utilisera la notation pointeur dans les signatures de fonctions:
  `void foo(char *chaine);`

FONCTION DE MANIPULATIONS DE CHAÎNES

- Ces fonctions sont dans : `#include <string.h>`
- longueur d'une chaîne :
  `unsigned int strlen(char* str);`
- Comparer deux chaînes :
  `int strcmp(char* s1, char* s2);`
  Retourne: <0 plus petit, 0 pareil, >0 plus grand
- Copier une chaîne :
  `char *strcpy(char *dst, char *src);`
- Convertir une chaîne en nombre :
  `int atoi(char* str);`
  il faudra `#include <stdlib.h>`

STRUCTURE RÉPÉTITIVES

Boucle classique

```c
i = 0 ; // Initialiser
while (i < 10) { // Tester
    instructions // Faire
    i = i + 1; // Incrémenter
}
```

Boucle compacte

```c
for (i = 0; i < 10; i = i + 1)
    instruction
```

- Erreur classique : Oublier d'incrémenter
- Uniquement du sucre syntaxique
- Toutes les infos sur la même ligne
- Conseil: ne les utilisez que quand ils sont clairs

EXEMPLE: FACT

```
int pow(int n, int e)
{
  int r = 1;
  int i = 0;
  while (i < e) {
    r = r * n;
    i = i + 1;
  }
  return r;
}
```

Peut s'écrire:

```
int pow(int n, int e)
{
  int r = 1;
  for (int i = 1; i < e; i = i + 1)
    r = r * n;
  return r;
}
```


LA LIGNE DE COMMANDE

```
int main(int argc, char *argv[]) { ... }
```

- `argc`: nombres d'arguments
- `argv`: tableau des valeurs des arguments
- Retourne le code d'erreur du programme (0 tout va bien)

*Le premier argument est **toujours** le nom du programme.*

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

int main(int argc, char *argv[])
{
    int i = 1, sum = 0;
    while (i < argc) {
        sum = sum + atoi(argv[i]);
        i = i + 1;
    }
    printf("La somme du programme %s est : %d\n", argv[0], sum);
    return EXIT_SUCCESS;
}
```

Exercice: réecrire ce programme (et le tester) avec un `for`

REPRÉSENTATION DES NOMBRES

- Bases
  - Constantes décimales : 42
  - Constantes hexadécimales : 0x42 (66)
  - Constantes octales : 042 (34)
  - constantes caractères : '*' (42)
- Negatifs, règle du complément à deux :
  `- x == ~ x + 1`
- Opérateurs bits-à-bits (bitwise)

non	et	ou	ou exclusif	décalage à gauche	décalage à droite
`~`	`&`	`|`	`^`	`<<`	`>>`

TYPES ENTIERS

- taille plate-forme dépendante
- `int` : 16 bits mini. (souvent 32)
- `char` : 8 bits
- `short` (`int`) : 16 bits mini.
- `long` (`int`) : 32 bits mini. (suffixe `L`)
- `long long` (`int`) : 64 bits depuis C99 (suffixe `LL`)
- `unsigned` (`int`) : non signé (suffixe `U`)
- Exemple :
  `unsigned long long foo = 0xffull`

ORDRE DE GRANDEURS

	Bits	Non signé	Signé
~	n	$[0;2^{n-1}]$	$[-2^{n-1};2^{n-1}-1]$
char	8	[0; 255]	[-128; 127]
short	16	[0; 65 535]	[-32 768; 32 767
long	32	[0; 4 294 967 295]	[−2 147 483 648 2 147 483 647]
long long	64	[0; 18 446 744 073 709 551 616]	[−9 223 372 036 9 223 372 036 8

`(1<<n)-1`

TAILLE DES 'OBJETS'

`sizeof(...)` : donne la taille d'un objet en **octet**
(retourne un `size_t` ≈ `unsigned` au moins `int`)

```c
int main(int argc, char *argv[])
{
    short s = 42;
    int i = 42;
    long l = 42;
    long long ll = 42;

    printf("s: %zu\ni: %zu\nl: %zu\nll: %zu\n",
    sizeof(s), sizeof(i), sizeof(l), sizeof(ll));

    printf("s: %zu\ni: %zu\nl: %zu\nll: %zu\n",
    sizeof(short), sizeof(int), sizeof(long), sizeof(long long));

    return EXIT_SUCCESS;
}
```


PRINTF

- Chaine de formats (`%`) ordonnés
- Attention au nombre d'arguments!
- Rappel: documentation `man 3 printf`

```c
printf("Hello %s à %zu lettres","world", strlen("world"));
```

Format (ex: `%u`)

`d`	`u`	`x`	`o`		`s`	`c`
Décimal signé	décimal non signé (Unsigned)	heXadécimal	Octal	~	String	Caractère

Taille (ex: `%llu`)

`hh`	`h`	`l`	`ll`	`z`
char	sHort	Long	Long Long	size_t

LOGIQUE

- Pas de booleans
- (pseudo-)Operateurs
  => pas forcements évalués

Et (logique)	Ou (logique)	Non (logique)
`&&`	`||`	`!`

- Attention: `~x != !x`
- Attention: `a && b != a & b`

TABLE DE PRÉCÉDENCE (2)

Op.	Déscription	Assoc
~ ! + -	Négation bit-à-bit et logique plus, moins unaire	D
* / %	Multiplier, diviser, modulo (reste)	G
+ -	Addition, soustraction (binaire)	G
> >= < <=	Plus grand (ou égal) Plus petit (ou égal)	G
== !=	Égalité, différence (non égalité)	G
&	"Et" bit-à-bit (and)	G
^	"Ou exclusif" bit-à-bit (xor)	G
|	"Ou" bit-à-bit (or)	G
&&	"Et" logique	G
||	"Ou" logique	G
=	Affectation	D

FLOT DE CONTRÔLE

- `return`
  retourne à la fonction appelante avec une valeur qui doit être omise si la fonction est void.

  JUSTE POUR ÊTRE COMPLET (MAIS PAS À SAVOIR)
- `break`
  sort de la boucle la plus intérieure (*innermost loop*)
- `continue`
  retourner au début de la boucle la plus intérieure (*innermost loop*)

STRUCTURE CONDITIONNELLE (2)

- `switch (cond) { }`
- Seulement un type entier
- Branches constantes
- Attention aux breaks

Un exemple

```c
if (choix == 'O' || choix == 'o') {
    printf("Oui");
} else if (choix == 'N' || choix == 'n') {
    printf("Non merci");
} else {
    printf("No lo po compris");
}
```

```c
switch (choix) {
    case 'O':
    case 'o':
        printf("Oui");
        break;
    case 'N':
    case 'n':
        printf("Non merci");
        break;
    default:
        printf("No lo po compris");
        break;
}
```


QUELQUES OPÉRATEURS

(UTILES ET DANGEREUX)

+=	*=	<<=	&=
-=	/=	>>=	|=
%=	^=		

```c
a = a + 3;
// Est équivalent à
a += 3;
```

	Incrém.	Décrémen.
Pre-	`++a`	`--a`
Post-	`a++`	`a--`

```c
int a = 2;
printf("%d\n", a ++);
printf("%d\n", ++ a);

// Mais attention ...
printf("%d %d\n", ++ a, a ++);
```

EXPRESSION CONDITIONNELLE

L'OPERATEUR TERNAIRE

- En fonction d'une `expression` (condition), évalue l'une ou l'autre des deux `expression`s
- ATTENTION à la lisibilité (n'imbriquez pas trop)
- Conseil parenthèsez tout en cas de doute

Syntaxe

```
cond ? expr-true : expr-false
```

Exemple

```
int max = (a > b) ? a : b
```


FONCTIONS SUR LES FLOTTANTS

- Par défaut : `double`
  version flottante : suivie d'un `f` ; ex: `truncf`
- Puissance : `pow`, `sqrt`
- Arrondis : `floor`, `ceil`
- Troncature : `trunc`
- Valeur absolue: `fabs` (note le f au début)
- `isfinite()`, `isinf()`, `isnan()`, `isnormal()`

LES NOMBRES FLOTTANTS

type	Signe	Exposant	Mantisse
float	1	8	23
double	1	11	52

- IEC 60559 ≈ IEEE 754

$$-1^{signe} * (1 + man) * 2^{exp-2^{|exp-1|-1}}$$

- 2 zéros, 2 infinités et quelques *Not a Number* (NaN)
- Attention : a * b / b != a
  ~~`if(a == b)`~~ `if(fabs(a - b) < epsilon)`

AFFICHAGE (DES FLOTTANTS)

modificateur	`%f`	`%e`	`%g`
double: `l`	notation décimale	notation scientifique	notation la plus adaptée
long double: `ll`	0.0 .0 0.	1e0 1.0e0 .0e1	

```
float f = 1.0 / 3.0;
printf("%f %e %g\n", f, f, f);
f = 1 / 3;
printf("%f %e %g\n", f, f, f);
f = 1.0 / 3;
printf("%f %e %g\n", f, f, f);
```

```
double f = 1.0 / 3.0;
printf("%5.2lf\n", f);
// Nombre de caractères minimum à afficher
// . Nombre maximum de décimales à afficher

int i = 1;
printf("%5.2d\n", i);
// . Nombre minimum de chiffres à afficher
```

TYPES SIMPLES (SCALAIRES)

- Entiers
  `(unsigned) char`
  `(unsigned) short`
  `(unsigned) int`
  `(unsigned) long`
  `(unsigned) long long`
- Flottants
  `float`
  `double`
  `long double`
- Spécial
  `void` (néant)

NOTATIONS

- Déclaration :
  `type* var;`
- Initialisation :
  `var = NULL;`
  `var = autre_ptr;`
  `var = &autre_var;`
- Utilisation:
  `type a = *var;`
  `var = &a;`

`*`	Suivre / Déréférencer
`&`	Prendre l'addresse

Se lit : `*var` est de type `type`
ou : `var` est une référence de type `type`

L'*autre* doit avoir le même type

POINTEURS (RÉFÉRENCES)

- Contient une adresse mémoire (flèche)
- Permet d'accéder à cette adresse (R/W)
- Les pointeurs sont typés
- Permet un passage par référence

- Convention : `NULL` (`0L`) => Absence de valeur
- Conseil : Utilisez la métaphore de la flèche, dessinez les !
- Toujours la même taille (dépendant de la plate-forme)

INVERSER DEUX VALEURS

```c
void swap(int* a, int* b)
{
    int tmp = *a;
    *a = *b;
    *b = tmp;
}
```

```c
// Cette version ne marche pas ...
void swap(int a, int b)
{
    int tmp = a;
    a = b;
    b = tmp;
}
```

```c
int main(int argc, char *argv[])
{
    int a = 42;
    int b = 24;

    printf("avant swap %d(%p) %d(%p)\n", a, &a, b, &b);
    // Aucune appel du type swap(a, b) ne peut faire l'affaire
    // On doit donc obligatoirement passer par des pointeurs
    swap(&a, &b);
    printf("apres swap %d(%p) %d(%p)\n", a, &a, b, &b);

    return EXIT_SUCCESS;
```

POINTEURS ET TABLEAUX

- Les tableaux n'existent pas ! (du point de vue des types)
- Tableau = Pointeur sur une zone contiguë + réservation
  (pas de copie de tableau car copie du pointeur)

```
int a[5] = {1, 2, 3, 4, 5};
if (a[3] == *(a + 3))
printf("toujours affiché\n");
```

En bref

`x[y]` <=> `*(x + y)`

ARITHMÉTIQUE DES POINTEURS

- Tous les opérateurs aroithmétiques d'addition, de soustraction et de comparaison.
- Addition/soustraction de pointeurs et scalaire :
  Valeur incrémentée de `sizeof(type)`
- Soustraction de deux pointeurs:
  Nombre d'élements les séparant
  (donc divisé par `sizeof(type)`)

```
unsigned strlen(char* str)
{
  unsigned len = 0;
  while (*str) {
    len ++;
    str ++;
  }
  return len;
}
```

```
unsigned strlen(char* str)
{
  unsigned len = 0;
  while (*str ++)
    len ++;
  return len;
}
```

```
unsigned strlen(char* str)
{
  char *ptr = str;
  while (*ptr++) {
  }
  return ptr - str;
}
```


POINTEURS CONSTANTS

- Constantes : `const char a = 5;` (depuis C99)

- Pointeurs contants:
  Le terme juste apres `const` est constant :
  `char const *foo;` => `*foo = 0` est illegal
  `char* const foo` => `foo = bar` est illegal
  Par abus de syntaxe :
  `const char *foo;` <=> `char const *foo;`

`void *` LE TYPE POLYMORPHE

- Tous les pointeurs ont la même taille
- `void *var;` est valide est reprensente un pointeur quelquonque
- Compatible avec tous les types pointeurs
- `*var` est ILLEGAL (on ne sait pas ce qu'il y a au bout)
- AUCUNE arithmétique possible

```
void *memcpy(void *dst, const void *src, size_t bytes)
{
    const char *s = src;
    char *d = dst;
    while (bytes --)
        *d++ = *s++;
    return dst;
}
```

SAISIE DE DONNÉES

- `scanf`
- Format identique à printf (mais pas tous disponibles)
- Attention à la syntaxe !
- Le `%s` ne lit jamais d'espace
- Utile pour lire des fichiers formatés
- Pour des saisie utilisateur, préférez `fgets` (et convertisez)

```c
int main(int argc, char *argv[])
{
    int a, r;
    float f;
    char s[50];

    r = scanf("%d %g %s", &a, &b, s);
    printf("lu: %d, a=%d, b= %g et s=%s\n",
           r, a, b, s);

    return EXIT_SUCCESS;
}
```

```c
int main(int argc, char *argv[])
{
    int r;
    char buffer[51] = {};
    fgets(buffer, 50, stdin);
    printf("J'ai lu: '%s'\n", buffer);
    return EXIT_SUCCESS;
}
```


STRUCTURES

- Types définis par l'utilisateurs
- Composition de types nommés (champ)
- Taille doit être calculable par `sizeof()`
  - Tableau taille connue
  - Pas récursives
  - Peuvent être retournés / copiés.

```c
struct point {
    int x;
    int y;
}; // Attention au `;`
```

```c
void affiche_point(struct point p)
{
  printf("(%d;%d)\n", p.x, p.y);
}
```

```c
int main(int argc, char *argv[])
{
    struct point p;
    p.x = 1; p.y = 2;
    struct point p1 = { 1, 2 };
    struct point p2 = { .y=2, .x=1 }; // depuis C99
    struct point p3 = p;
    affiche_point(p);
}
```


POINTEURS ET STRUCTURES

- Permet de faire des structures chainés
- Priorité du `.` supérieure à `*`
  - Message d'erreur cryptique
  - Syntaxe dédiée

`(*x).y` <=> `x->y`

- Types incomplets
  - On ne peut faire QUE des pointeurs
  - On ne peut pas les suivre

```c
struct i_list {
    int value;
    struct i_list *next;
};
void append(struct i_list *node,
            struct i_list *other)
{
  node->next = other;
}
```

```c
struct foo;

struct bar {
    struct foo *xyzzy;
};

void baz(struct foo *some_foo);
```


ÉNUMÉRATIONS

- Entiers nommés
- Numérotation automatique (mais on peut l'aider)
- Affichage, calcul et autre comme pour un entier

```c
enum couleur {
    TREFLE, CARREAU, COEUR, PIQUE
};

enum valeur {
    DEUX=2, TROIS, QUATRE, CINQ,
    SIX, SEPT, HUIT, NEUF, DIX,
    VALET, DAME, ROI, AS
};

enum couleur atout = PIQUE;
```

```c
struct carte {
  enum valeur valeur;
  enum couleur couleur;
};

struct carte black_jack =
    { VALET, PIQUE };

int plus_fort(struct carte c1,
              struct carte c2)
{
    return c1.valeur > c2. valeur
      || c1.valeur == c2.valeur
      && c1.couleur > c2.couleur;
};
```

TRUCS ET ASTUCE

Pour les `enum`s contigues:

- Pour tester les bornes
  - Définissez au moins un dernier élément dans l'énum
  - Définissez éventuellement un premier élement
- Pour afficher en toutes lettres utilisez
  une fonction + un tableau + testez les bornes

```c
enum kind {
  ROCK, POP, JAZZ, HIP_HOP,
  KIND_COUNT, FIRST_KIND=ROCK
};


static const char *txt[KIND_COUNT] = {
  "Rock", "Pop", "Jazz", "Hip Hop"
}; // RQ static sera expliqué plus tard

const char *kind_txt(enum kind k)
{
  if (k >= FIRST_KIND && k < KIND_COUNT)
    return txt[k];
  return NULL; // eventuellement "UNKOWN"
}
```


FICHIERS D'EN-TÊTES

- Par convention se terminent par `.h`
- Inclus par `#include` suivi de :
  - `"fichier.h"` s'il s'agit d'un fichier perso. (répertoire courant)
  - `<fichier.h>` s'il s'agit d'un fichier std. (include path)
- Uniquement des déclarations :
  - Prototypes
  - Constates/Macros
  - Types (eventuellement incomplets)
  - etc
- Attention aux récursions (cf. slide suivant)

PRÉ-PROCESSEUR

- Avant de compiler le programme
- Commence par un `#` et se termine à la fin de la ligne
  - Constantes (généralisés par la notion de Macro)
    Défini par `#define`, substitué jusqu'à la fin du fichier
    Attention aux priorités et évaluations multiples
  - Inclusion de fichier (cf. slide suivant)
  - Compilation conditionelle (cf. slide sur-suivant)

```c
#define FOO 42
#define BAR (FOO + 3)
#define BAZ FOO + 3

int a = FOO; // a == 42
int b = BAR * 2; // b == 90
int c = BAZ * 2; // Attention: c == 48
```

```c
#define MAX(__x, __y) \
  ((__x) > (__y) ? (__x) : (__y))


int m = MAX(foo(), bar());
// Nombre d'appel de foo et bar ?
int f = foo(), b = bar();
int mm = MAX(f, b); // OK
```


PRÉPROCESSEUR ET COMPILATION SÉPARÉE

- Prototype non implémenté
  => fonction externe(`extern`)
- Éviter les dépendances circulaires (astuce des `#ifndef`)
- Exemple de compilation :

```
cc -c main.c
cc -c calcul.c
cc -o executable main.o calcul.o
```

```c
// calcul.h
#ifndef __CALCUL_H
# define __CALCUL_H

#define TAILLE_MAX 42

struct bar; // Types incomplets

void foo(int x); // Fctn. ext.
void baz(struct bar *xyzzy);
// ... autres prototypes
#endif
```

```c
// main.c
#include "calcul.h"

// ...
foo(42);
```

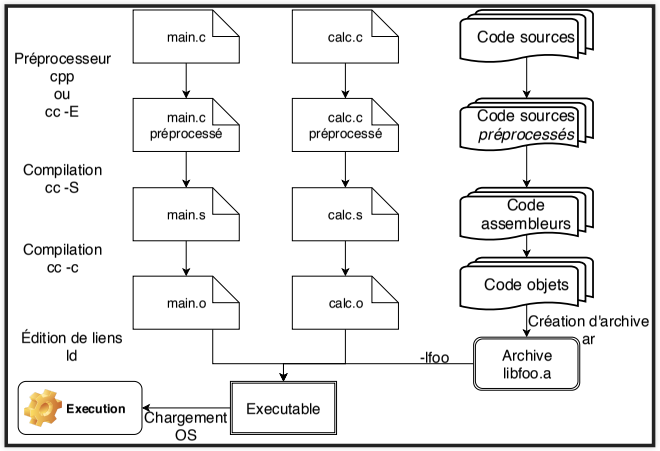
```c
// calcul.c
#include "calcul.h"

void foo(int n) {
  // ...
}
```

VARIABLES ET COMPILATION SÉPARÉE

- Variables locales valable uniquement dans la fonction (ce qu'on fait depuis le début, et ce qu'il faut maximiser)
- Variables globales, valables tout le programme (rare)

- Tous les noms globaux sont exportés
  - `static` sur une variable globale l'empêche
  - `static` sur une variable locale
    => La variable garde sa valeur entre les appels
  - `extern` sur une variable globale/fonction
    => Il existe une var/fonction, sa définition est ailleurs

CHAÎNE DE COMPILATION



GESTION DE FICHIERS

- Type associé : FILE *
- Mode d'ouverture du fichier
- Limite du nombre fichier ouvert
  Tout fichier ouvert doit être fermé
- Protocole
  1. Ouvrir fichier
     ```
     FILE* fopen(char* nom, char* mode);
     ```
  2. Travailler sur le fichier (slides suivants)
  3. Fermer le fichier
     ```
     int fclose(FILE* fd);
     ```


MODES D'OUVERTURES

`mode`	Mode d'ouverture	Position
`r`	Lecture	Début
`w`	Écriture	Début
`a`	Écriture. Écritures toujours à la fin (pas de déplacement)	Fin
`r+`	Lecture/écriture. Pas de création	Début
`w+`	Lecture/écriture. Le fichier peut être crée	Début

FICHIERS TEXTES

Ces fonctions considèrent le contenu du fichier comme des chaînes de caractères.

`printf("foo");` <=> `fprintf(stdout, "foo");`

- `int fprintf(FILE *fd, char *fmt, ...);`
- `int fscanf(FILE *fd, char *format, ...);`
- essaye de lire une ligne :
  `int fgets(char *buffer, int size, FILE *fd);`
- lit un char. `int fgetc(FILE *fd);`
- écrit un char. `int fputc(int c, FILE *fd);`

FICHIERS DÉJA OUVERTS

- `stdin`
  Entrée standard en lecture. Par défaut le clavier
- `stdout`
  Sortie standard en écriture. Par défaut l'écran
- `stderr`
  Sortie d'erreur en écriture. Par défaut l'écran

Rediriger:

```
./mon_programme < fichier_in > fichier_out 2> fichier_err
```


MANIPULATION GÉNÉRIQUES

(OU QUELQUONQUES)

- Lectures / Écritures:
  ```
  unsigned fread(void *ptr, unsigned size,
  unsigned nitems, FILE *stream);
  unsigned fwrite(const void *ptr, unsigned size,
  unsigned nitems, FILE *stream);
  ```
- Position / déplacement:
  ```
  long ftell(FILE *fd);
  void rewind(FILE *fd);
  int fseek(FILE *fd, long offset, int whence);
  ```


EXEMPLE COPIER UN FICHIER

```
#define BSIZE 100
void copy_file(FILE *dst, FILE *src) {
  int r;
  char buffer[BSIZE];
  while((r = fread(buffer, 1, BSIZE)) > 0) {
    if(fwrite(buffer, 1, r, dst) <= 0)
      break;
  }
}
```

- Exercice : Faire l'équivalent de la commande `cp`
- Il vous faudra gérer plus proprement les erreurs.

ORDRE DES OCTETS

ENDIANNESS (BOUTISME)

- A partir du moment où il y a échange de donnée, l'ordre des octets compte
- Deux grandes familles
  - **Big-Endian**: Octet de poid fort en premier (ordre réseau, Motorola 68k, Java, jpeg, ...)
  - **Little-Endian**: Octet de poid faible en premier (intel, FAT, ext2, ...)
- Il faut donc reconstruire les entiers dans le bon ordre

FONCTIONS UTILES

- Aloue initialisé
  `void *calloc(size_t item_count, size_t item_size)`
- Réduit ou étend une zone
  `void *realloc(void* ptr, int size)`
- Initialise une zone à `value`
  `void *memset(void *buff, int value, size_t len)`
- Copie une zone
  `void *memcpy(void *d, const void *s, size_t len)`

GESTION DE LA MÉMOIRE

- Deux opérations: *allouer* et *libérer*
  `void* malloc(size_t nb);`
  `void free(void *ptr);`
- La mémoire est non initialisée
- Tout bloc alloué doit être libéré et UNE SEULE fois
  Attention aux fuites mémoires

GESTION DES ERREURS

- Pas de mécanisme dédié
- Variable globale : `int errno;` (`errno.h`)
  Elle contient le dernier code d'erreur
- `void perror(char* prefix);`
  Affiche le prefixe suivi du dernier message d'erreur
- Toutes les fonctions systèmes
  - Gestion de fichier
  - Gestion de la memoire
  - etc.

ERREURS DURANT LE DÉVELOPPEMENT

- Pour vous aider lors du développement (`assert.h`):
  `assert(expr);`
  arrête le programme si expr est faux
- Considèrez que ces lignes peuvent être ignorées
  (il suffit de compiler avec `-DNDEBUG`)

```c
if ((fd = fopen(file, "r")) == NULL) {
  perror("Error opening file");
  exit(1);
}
```

```c
fd = fopen(file, "r");
assert(fd); // C'est mal
```

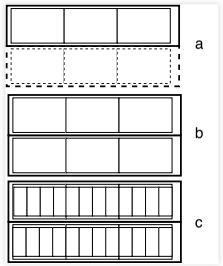

GOTO

- Ne devrait jamais être utilisé
  => code spaghetti
- Sauf pour rattraper des erreurs

```c
void do_something() {
  int *buffer = malloc()
  if (!buffer) goto end;
  // do things
  if (some_error_happens) goto free_memory;
  // do more things
free_memory:
  free(buffer);
end:
}
```

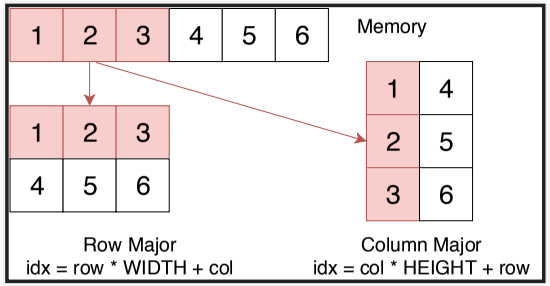

TABLEAUX MULTI-DIMENSIONNELS EN C

- Homogènes (tous les éléments ont le même type)
- Dense (Pas de trous, toutes les lignes ont la même taille)
- Toutes les dimensions sont fixés à la déclaration
- La première dimension est libre dans les paramètres
- `void f(int a[])` <=> `void f(int *a)`
  `void f(int a[][20])` <=!=> `void f(int`
- *Row-Major* cf. slide suivante
- Peu utilisé cf. slides suivante




```c
void foo(int a[][3])
{
  int b[2][3]; // Se lit b est :
  // un tableau de deux tableaux
  // de trois entiers
  int c[2][3][4];
}
```


TABLEAUX MULTI-DIMENSIONNELS

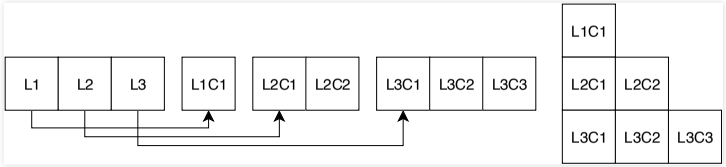


- Conseil faîtes des tableaux 1D
- Linéarisez vous-même (faites une fonction)

```c
int idx(int row, int col, int width, int height)
{
  return row * width + col;
}
```

TABLEAUX NON DENSES

```c
// Déclaration statique
int l1[1] = {L1C1},
l2[2] = {L2C1, L2C2},
l3[3] = {L3C1, L3C2, L3C3};
int *tab[3] = {l1, l2, l3};

// Avec allocation dynamique
int **tab2 = malloc(3*sizeof(int*));
int *data = malloc(6*sizeof(int));
tab2[0] = data;
tab2[1] = data + 1;
tab2[2] = data + 1 + 2;
// Notez que les données ne sont tjs pas ici ...
```



TYPES ANOMYMES

Pour les `struct`/`enum`/`union`

- On peut définir des variables après les `{}`
- Le nom est facultatif
- Utilisé pour les *sous*-structures

```c
struct p_value {
  enum {INT, DOUBLE} type;
  union {
    int i;
    double d;
  } value;
};
```

```c
struct p_value v =
    { INT, {.i = 45} };
switch (v.type) {
  case INT:
    printf("%d", v.value.i);
    break;
  case DOUBLE:
    printf("%lf", v.value.d);
    break;
}
```


UNIONS

- Comme une structure où **au plus** un champs peut être utilisé en même temps.
- La taille (`sizeof`) est au moins égale à la taille du plus grand élément
- Souvent utilisé en conjonction avec une structure et une énumération

```c
union some_value {
  int i;
  double d;
};
```

```c
union some_value v;
v.i = 10;
v.d = 20.0;
// v.i invalide maintenant
printf("d: %lf i:%d", v.d, v.i);
```


POINTEURS DE FONCTIONS

- Les fonctions sont chargés en mémoire, elles ont donc une adresse
- On peut faire un pointeur sur cette adresse (en utilisant simplement le nom de la fonction)
- On peut appeler la fonction via son pointeur
- Attention à la syntaxe relativement tordue

`type_de_retour (*) (types_des_parametres)`

- Pour nommer une variable (un paramètre), le nom est dans l'`(*)` après l'`*`

```c
int (*compare)(const char*, const char*) = strcmp;
compare(s1, s2); // Compare en tenant compte de la case
compare = strcasecmp;
compare(s1, s2); // Compare sans tenir compte de la case
```

ALIAS DE TYPE

`typedef`

- Permet de *re*nommer un type
- Malheureusement compatible avec le type dont il est l'alias
- Permet de faire disparaitre la différence entre une structure et un scalaire
- Est en général **TRES** mal utilisé :
  - Pour s'économiser le mot `struct`
  - Cacher un pointeur (`*`)
- Aucun cas simple où l'utilisation est justifié

```
typedef type a aliaser nouveau_nom;
```


CONCLUSION

```c
int main(int argc, char *argv[])
{
  return EXIT_SUCCESS;
}
```


CAS ACCEPTABLES

VOIRE PROPRE

- Renommer un pointeur de fonction si ça améliore la lisibilité
- Masquer des détails de l'architecture
- S'assurer de la présence d'un `volatile` dans un type (utile pour communiquer avec du *hardware*)
- Fabriquer un type opaque (en général types systèmes)
  on ne doit vraiment pas savoir s'il s'agit d'un scalaire ou d'une structure

```c
typedef void (*print_function)(void *);
void print_array(int len, void **array, print_function fun);
```

```c
#if ULONG_MAX > UINT_MAX
  typedef long my_int64;
#elif ULLONG_MAX > ULONG_MAX
  typedef long long my_int64;
#endif
```

```c
typedef volatile int vint;
```

```c
typedef int pid_t;
pid_t get_pid();
```