UNIVERSITÉ
CÔTE D'AZUR

Production et Exécution des Programmes

Présentation: **Stéphane Lavirotte**
Auteurs: ... et al*

(*) Cours réalisé grâce aux documents de :
Sacha Krakowiak, Stéphane Lavirotte, Jean-Paul Rigault

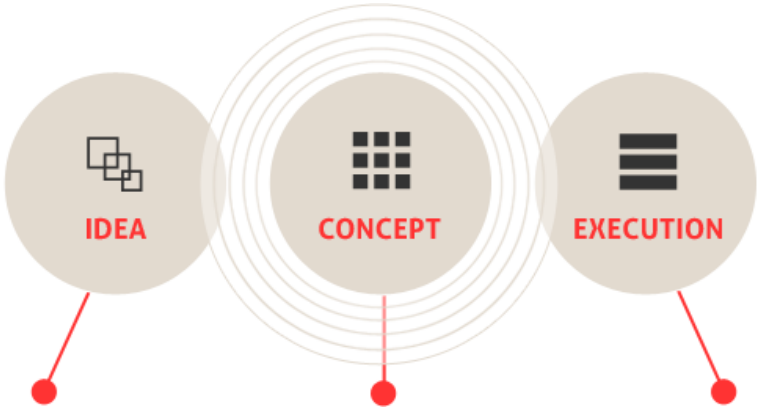
Mail: Stephane.Lavirotte@unice.fr
Web: http://stephane.lavirotte.com/
Université de Nice - Sophia Antipolis

UNIVERSITÉ CÔTE D'AZUR

Positionnement de ce Cours

- ✓ Cours de liaison avec les cours du 1er semestre
  - Programmation Procédurale
    - Introduction au langage C (types, fonctions, préprocesseur, pointeurs, programmation modulaire…)
  - Principe d'exécution des programmes
    - Représentation des nombres, opérateur de base, logique et circuit combinatoire, unité arithmétique et logique, assembleur
  - Programmation Orientée Objet
    - Classes, objets, héritage, design patterns, machine virtuelle
- ✓ Pour aller vers un point essentiel
  - La couche entre vos programmes et la machine
  - Pourquoi, comment « un Système d'Exploitation »

UNIVERSITÉ
CÔTE D'AZUR



Concepts de base de l'exécution des programmes

Au niveau du processeur

UNIVERSITÉ CÔTE D'AZUR

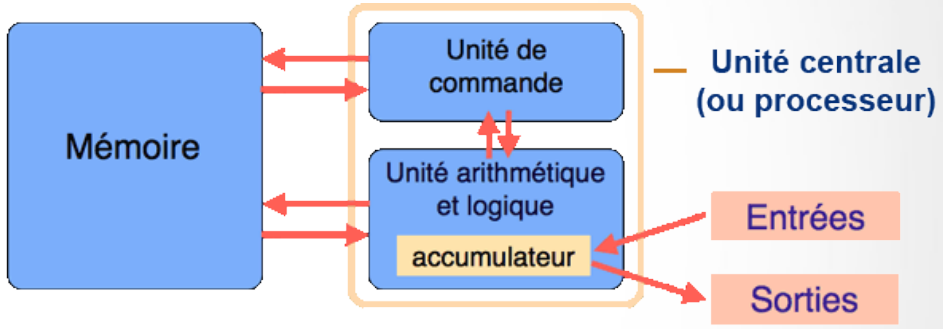
Modèle de von Neumann

- ✓ A la base, machine de Turing (1936)
  - Modèle **abstrait** du fonctionnement des appareils mécaniques de calcul
    - Un ruban infini
    - Une tête de lecture/écriture
    - Un registre d'état
    - Une table d'actions
- ✓ Puis, Modèle de von Neumann (étendu) (1945)
  - Mémoire pour programmes et données
    - Programme non inscriptible (non automodifiable)
  - Unité centrale avec registres de travail
  - Mot d'état du processeur
    - Modes utilisateur/système, instructions privilégiées
  - Exécution séquentielle
    - Compteur ordinal
    - Ruptures de séquence (branchement)

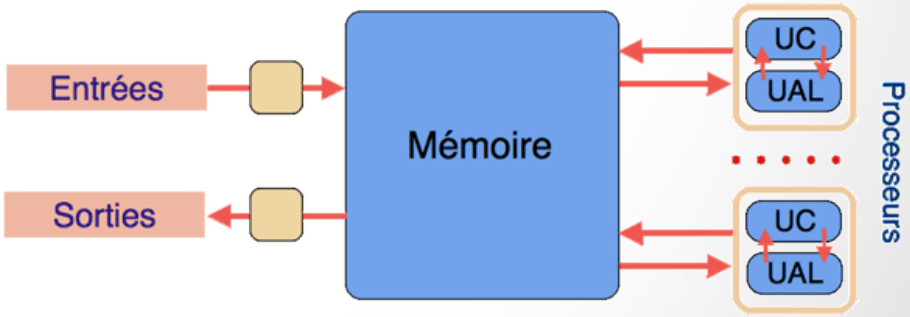
UNIVERSITÉ CÔTE D'AZUR

Une Architecture Novatrice

- ✓ "First Draft of a Report on EDVAC"
  - Document de 101 pages décrivant:
    - un schéma d'architecture de calculateur: 3 éléments
      - unité arithmétique
      - unité de commande
      - mémoire contenant programme et données
    - des principes de réalisation pour ces éléments
      - les opérations arithmétiques



Modèle originel



Modèle actuel

UNIVERSITÉ CÔTE D'AZUR

Modèle de von Neumann Concepts de base (1/2)

- ✓ Atomicité des instructions élémentaires (?)
- ✓ Procédure et activité
  - Procédure : élément structurant d'un programme
  - Activité : exécution d'une procédure
- ✓ Programme et processus
  - Programme : ensemble de procédures, le résultat statique d'une compilation/édition de liens (binaire exécutable)
    - Ensemble de procédures
  - Processus : l'activité dynamique résultant de l'exécution d'un programme
    - Enchaînement (séquentiel ou concurrent) d'activités

UNIVERSITÉ CÔTE D'AZUR

Modèle de von Neumann
Concepts de base (2/2)

- ✓ Contexte
  - Information caractérisant l'état courant d'un processus
    - Sauvegardé lors de la suspension du processus et rechargé lors de sa reprise
  - Contexte matériel
    - Mot d'état, compteur ordinal, registres de l'unité centrale
  - Contexte logiciel (ou système)
    - Segments de texte (instructions), de données, de pile...
    - Attributs : identification utilisateur, droits d'accès, priorité...
    - Ressources utilisées : fichiers ouverts...

UNIVERSITÉ CÔTE D'AZUR

Evénements, Interruptions et Déroutements (1/2)

- ✓ Événements : interruption et déroutement
  - **Interruption** : événement asynchrone (inopiné)
    - Fin d'entrée-sortie
    - Condition « anormale » d'un processus extérieur (temps réel)
  - **Déroutement** (ou **exception**) : événement provoqué par l'exécution même du programme, correspondant à une situation « exceptionnelle »
    - Exception arithmétique, violation de protection mémoire...
    - Passage du mode utilisateur au mode système (TRAP)
  - Traitement uniforme par la plupart des architectures

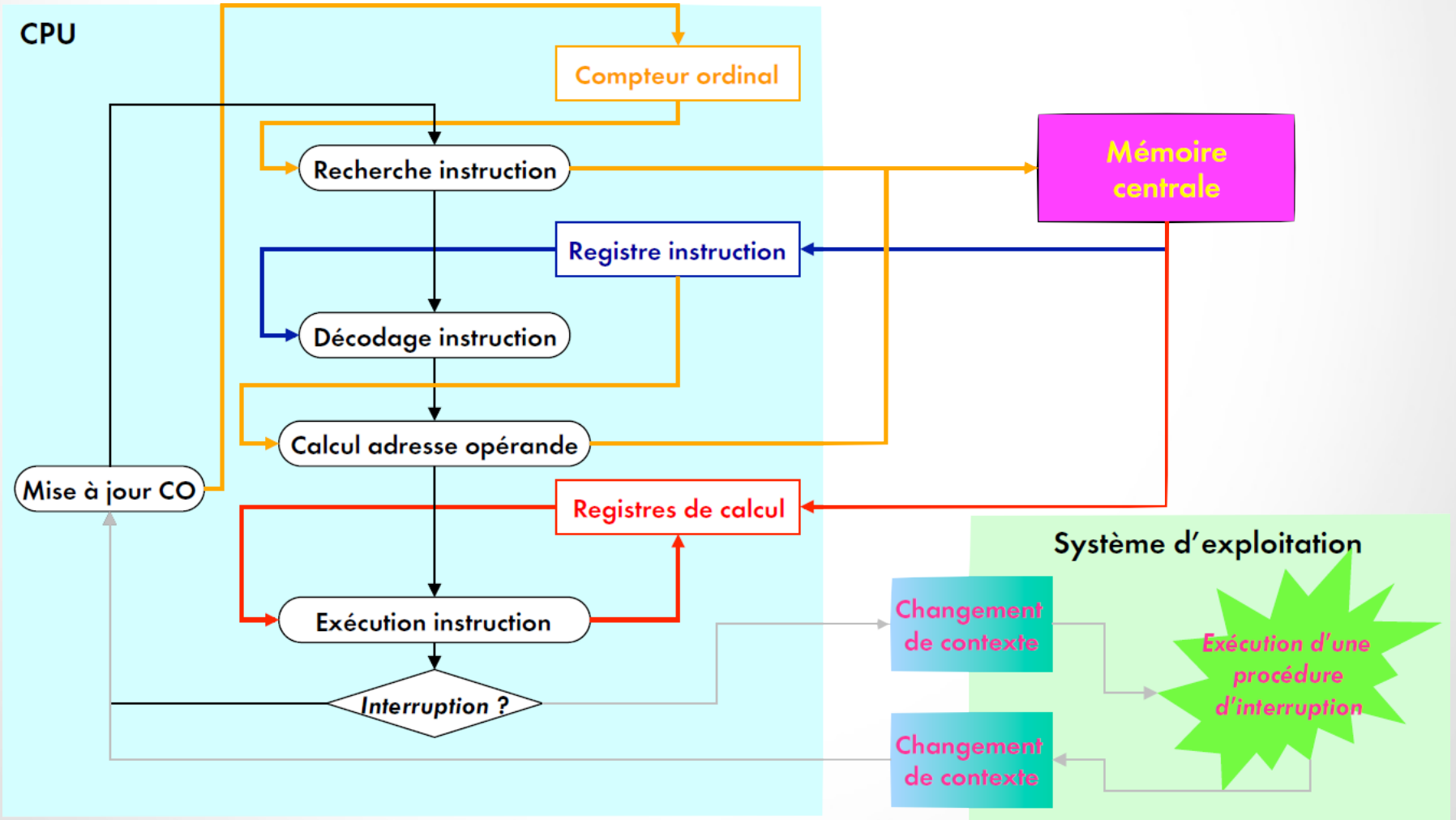
UNIVERSITÉ CÔTE D'AZUR

Evénements, Interruptions et Déroutements (2/2)

- ✓ Événements : interruption et déroutement (suite)
  - Hiérarchie des interruptions (priorité)
  - Masquage/démasquage
  - Armement/désarmement
  - Procédure (de traitement) d'interruption
    - Déclenchement (ordonnancement) par le matériel
    - Notion de réentrance
      - Réexécution d'une procédure actuellement suspendue (par suite d'une IT)
      - Conditions nécessaires : invariance du code, séparation des données
      - La récursivité implique la réentrance

UNIVERSITÉ CÔTE D'AZUR

Cycle élémentaire d'Exécution d'une Instruction



UNIVERSITÉ
CÔTE D'AZUR

Production et Exécution de Programmes

UNIVERSITÉ CÔTE D'AZUR

Langage de Programmation (de Haut Niveau)

- ✓ Modèle de calcul plus proche des applications
  - Types de données et opérations
  - Mécanismes d'abstraction
- ✓ Vérification et renforcement de la sécurité de programmation
  - Vérifications statiques
  - Vérifications dynamiques
  - Utilisation des données
- ✓ Nécessité d'un mécanisme de traduction ou d'interprétation en langage-machine

UNIVERSITÉ CÔTE D'AZUR

Langage de Programmation
Modèle de calcul

- ✓ Types de données et opérations
  - Structuration des données de base de la machine sous-jacente
  - Nouveaux types de données et opérations
    - définis par le langage : `int`, `long`, `long long`, `complex`...
    - définis par l'utilisateur : `struct`, `union`, `class`

- ✓ Mécanismes d'abstraction
  - Structuration du flot de contrôle, des données
    - Sous-programmes, fonctions...
    - Modules, classes...
  - Séparation spécification/implémentation

UNIVERSITÉ CÔTE D'AZUR

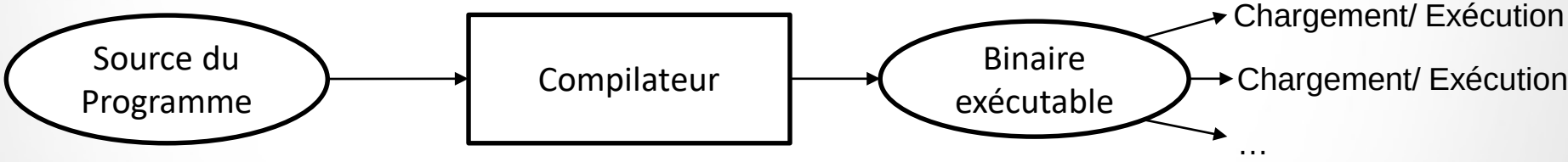
Langage de Programmation
Sécurité de Programmation

- ✓ Vérifications statiques
  - Avant toute exécution
  - Lors du processus de traduction
  - Exemples :
    - Analyse de type (en C/C++, Java)
    - Contrôle d'accès (en C++, Java)
- ✓ Vérifications dynamiques
  - Lors de l'exécution
  - Exemple :
    - Dépassement de borne d'indice
    - Paramètres incorrects

UNIVERSITÉ CÔTE D'AZUR

Compilation et Interprétation

- ✓ **Compilation**
  - Le source du programme est traduit, une fois pour toutes (?) en langage-machine
  - Le résultat est un fichier binaire exécutable
  - Ce fichier est chargé en mémoire pour chaque exécution



- ✓ **Interprétation**
  - Le source du programme est traduit « à la volée » , instruction
  - par instruction, lors de chaque exécution

UNIVERSITÉ CÔTE D'AZUR

Compilation et Interprétation *Avantages et Inconvénients*

- ✓ Compilation
  - Possibilité de vérifications et d'optimisations statiques et globales
  - Renforcement de la sécurité de programmation
  - Programme figé
  - Cycle de développement lourd
- ✓ Interprétation
  - Le programme peut évoluer (et même se faire évoluer lui-même)
  - Grande puissance d'expression
  - Mise au point interactive
  - Vérifications dynamiques seulement
  - Détection d'erreurs à l'exécution et optimisation délicate

UNIVERSITÉ CÔTE D'AZUR

Compilation et Interprétation *Combinaison des 2 Approches*

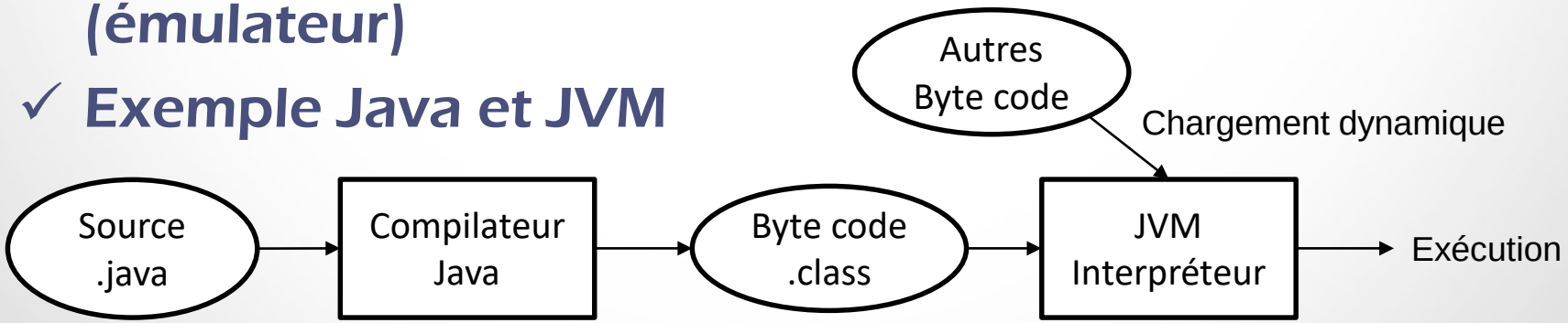
- ✓ Langages de haut niveau et matériel
  - Des langages comme C/C++, Ada... sont traduits en langage machine (compilation)
  - Le matériel (processeur) interprète ce langage-machine
  - Les fichiers exécutables sont dépendants du matériel utilisé

- ✓ Langages de haut niveau et machine virtuelle
  - Un langage comme Java est compilé en un langage-machine virtuel (byte-code)
  - Ce langage est lui-même interprété par un programme appelé machine virtuelle (voir plus loin)
  - Les fichiers byte-code sont indépendants du matériel

UNIVERSITÉ CÔTE D'AZUR

Machine Virtuelle *Principe*

- ✓ Inventer une architecture de processeur adaptée à l'interprétation du langage de haut niveau
  - Registres
  - Jeux d'instruction
  - Structure de données manipulées …
- ✓ Compiler le langage dans le jeu d'instructions de la machine
- ✓ Fournir une réalisation logicielle de cette machine (émulateur)
- ✓ Exemple Java et JVM



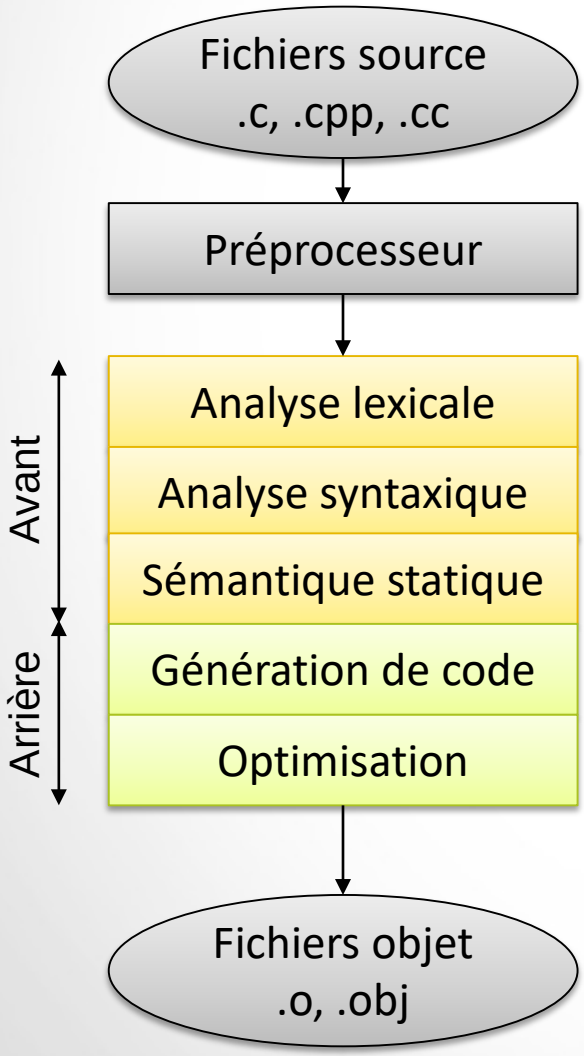
UNIVERSITÉ CÔTE D'AZUR

Machine Virtuelle
Avantages Inconvénients

- ✓ Les programmes sont portables
  - Seule la machine virtuelle doit être réécrite …
  - et encore, elle peut elle-même être largement portable
- ✓ Avantages de l'interprétation et de la compilation réunis
  - Mécanismes dynamiques et vérifications statiques
- ✓ Performance
  - Interprétation logicielle
  - Double traduction
- ✓ Maintenance, évolution
  - Un changement du langage implique la mise à jour du compilateur et de la machine virtuelle

UNIVERSITÉ CÔTE D'AZUR

Processus de Compilation (cas de C / C++)



Texte du programme (+ directives du préprocesseur)

Transformation textuelle sur le source
(particulier à C et C++)

« Tokens » (mots): `if`, `while`, `int`, identificateurs

Structures syntaxiques (phrases): expressions, déclarations

Analyse des types, contrôle d'accès, …

Production de code en langage machine/assembleur

Amélioration du code produit

Programme traduit (+ information pour l'éditeur de liens)

UNIVERSITÉ CÔTE D'AZUR

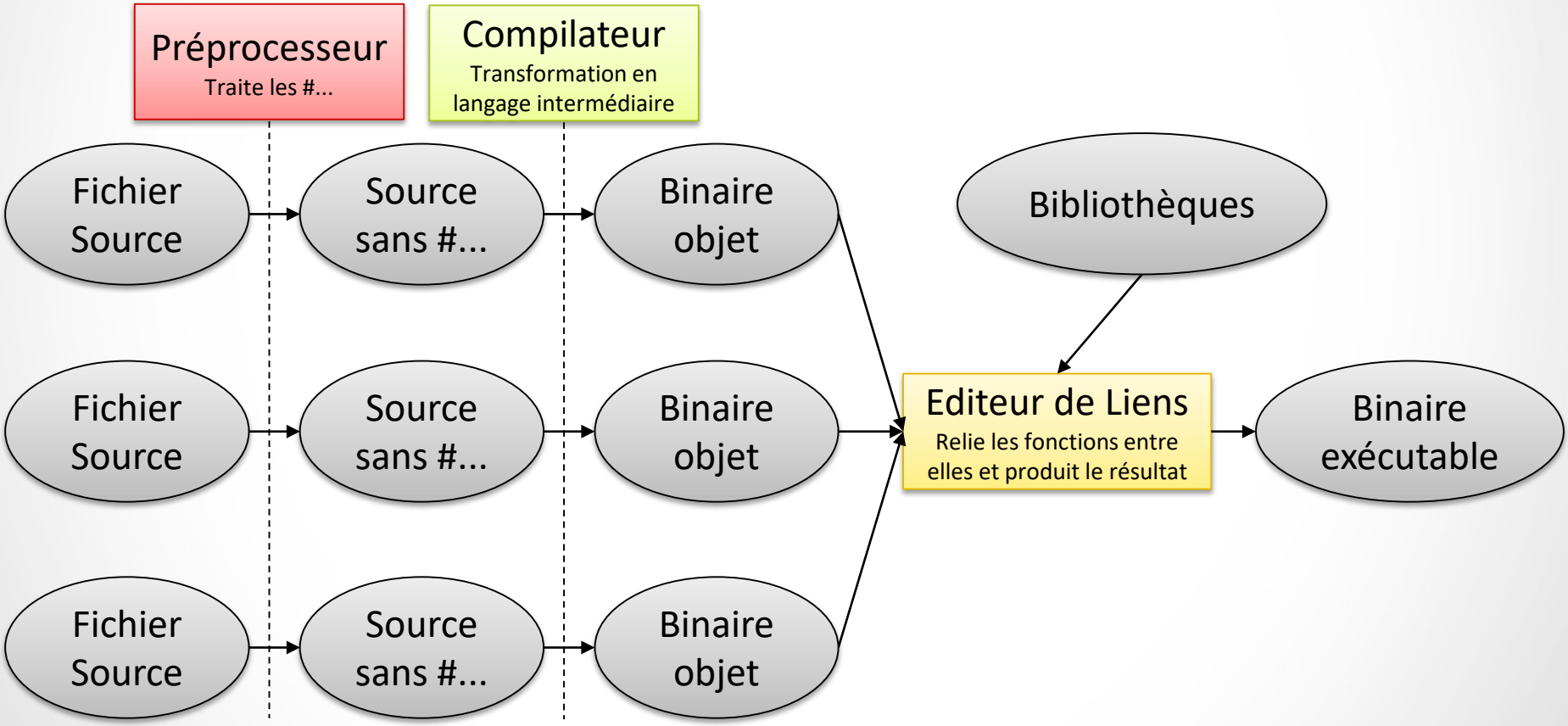
Compilation séparée ?

- ✓ Fichier source unique ?
  - Difficile à maintenir
  - Inefficace
  - Besoin de bibliothèques précompilées

- ✓ Compilation séparée
  - Le source du programme est découpé en unités de compilation
    - En C/C++, unité de compilation = un fichier `.c` (ou `.cc`, `.cpp`) et tous les fichiers `.h` (ou `.hpp`...) qu'il inclut
    - En Java, unité de compilation = un fichier .java
  - Chaque unité est compilée séparément
  - Un éditeur de lien colle les morceaux et produit l'exécutable
    - (sous Unix/Linux, l'éditeur de liens est `ld`)

UNIVERSITÉ CÔTE D'AZUR

Etapes de la Compilation de Code Source



UNIVERSITÉ
CÔTE D'AZUR

Editeur de Liens

- ✓ Rôle : lier ensemble les différentes parties du programme
  - Fichiers-objets produits par la compilation séparée
  - Bibliothèques (fichiers-objets précompilés)

- ✓ Résolution de références
  - Utilisation d'un objet (constante, variable, fonction) dans une unité de compilation alors qu'il est défini dans une autre unité
  - Ne concerne a priori que les fonctions et les variables ou constantes statiques externes
    - Les variables allouées dynamiquement (tas ou pile) sont exclues
    - Les autres variables statiques (privées à un fichier ou à un bloc) et les fonctions statiques sont également exclues

UNIVERSITÉ CÔTE D'AZUR

Exemple

fichier1.c

```
double g = 1.0;

int f(int);

main() {
   int i;
   i = f(3);
}
```

Définition d'une variable externe g

Déclaration d'une fonction externe f

Utilisation de la fonction externe f

fichier2.c

```
extern int g;

void f(int x) {
   return 2 * g;
}
```

Déclaration d'une variable externe g

Définition d'une fonction f

Utilisation de la variable externe g

UNIVERSITÉ CÔTE D'AZUR

Résolution de Référence

- ✓ Chaque fichier-objet contient une table des symboles externes afin de faciliter le travail de l'éditeur de liens
- ✓ Cette table des symboles est en principe inutile dans le fichier binaire exécutable
  - On l'y conserve cependant pour permettre le debugging
  - La commande `strip` permet de la supprimer
- ✓ Commandes (unix/linux) de lecture des fichiers-objets (`.o`)
  - `nm` : liste des symboles
  - `objdump`, `readelf` : examine le contenu sous forme « lisible »

UNIVERSITÉ CÔTE D'AZUR

Editeur de Liens et Typage

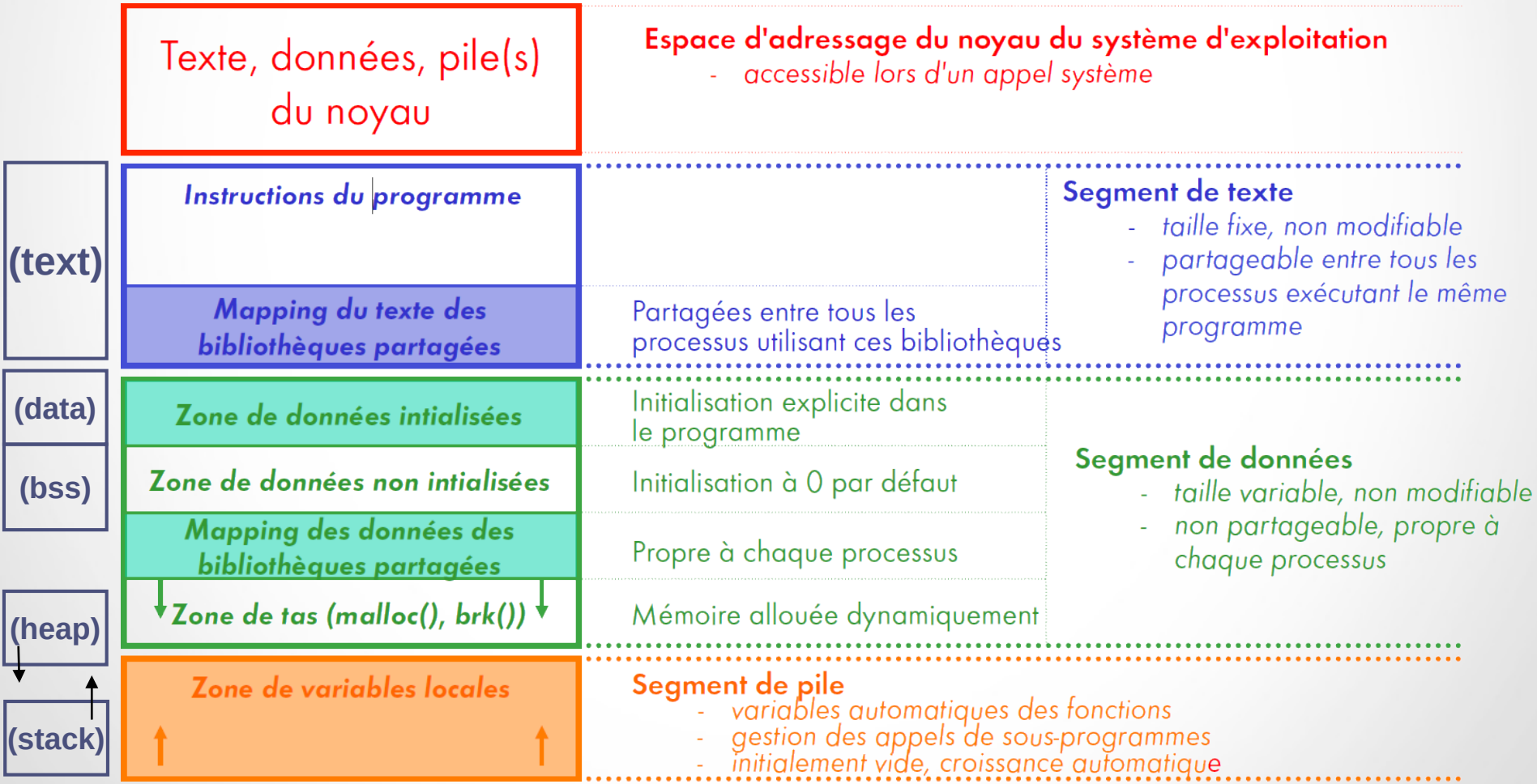
- ✓ Le typage est réalisé par le compilateur
- ✓ En cas de compilation séparée
  - chaque fichier-source doit contenir toute l'information nécessaire aux vérifications statiques
  - les fichiers-objets ne contiennent plus (a priori) d'informations liées au typage

UNIVERSITÉ
CÔTE D'AZUR

Modèle d'Exécution

Pile d'exécution (call stack)

Espace d'Adressage d'un Processus Exemple d'Unix



UNIVERSITÉ CÔTE D'AZUR

Exemple Concret de Régions Mémoires

- ✓ Seules les variables globales ou statiques locales sont initialisées à 0 par défaut
- ✓ Une variable non-initialisée locale ou créée sur le tas a une valeur non-définie
- ✓ Dans quelles zones mémoires ces différentes variables sont-elles localisées ?

```
int var1;                                  <-- bss
char var2[] = "buf1";                      <-- data
main() {
    int var3;                              <-- stack
    static int var4;                       <-- bss
    static char var5[] = "buf2";           <-- data
    char * var6;                           <-- stack
    var6 = malloc(512);                    <-- heap
}
```

UNIVERSITÉ CÔTE D'AZUR

« Run Time »

- ✓ Informations nécessaires à l'implémentation de la sémantique d'exécution
- ✓ Techniques
  - Code généré par le compilateur
  - Bibliothèques (partagées ou non)
  - Machines virtuelles
- ✓ Exemples
  - Code généré
    - Structure de contrôle, appels de fonction
    - Évaluation des expressions…
  - Bibliothèques
    - Déclenchement des appels-système
    - Gestion mémoire (e.g., `malloc()`, `new`)

UNIVERSITÉ CÔTE D'AZUR

« Run Time » Gestion Mémoire Dynamique

- ✓ Gestion mémoire dynamique
  - Segment de données
    - Allocation de mémoire dans le tas (heap)
    - Mémoire partagée entre processus
    - Données des bibliothèques dynamiques
    - Entrées-sorties « mappées »
  - Segment de texte
    - Code des bibliothèques dynamiques
- ✓ Partage possible grâce à la mémoire virtuelle
- ✓ Mécanismes fondamentalement identiques

UNIVERSITÉ
CÔTE D'AZUR

« Run Time »
Gestion de la Pile

- ✓ Gestion de la chaîne dynamique d'appels de fonctions
- ✓ Gestion des variables locales des fonctions
- ✓ Gestion des exceptions

- ✓ Exemple de l'exécution d'un programme

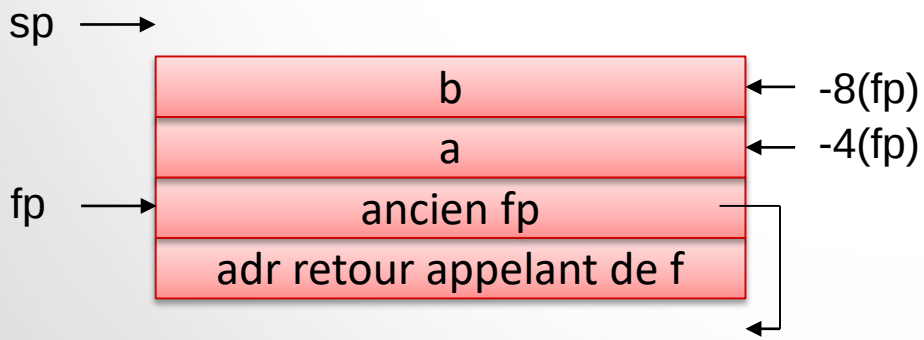
UNIVERSITÉ CÔTE D'AZUR

« Run Time »
Exemple de Gestion de la Pile

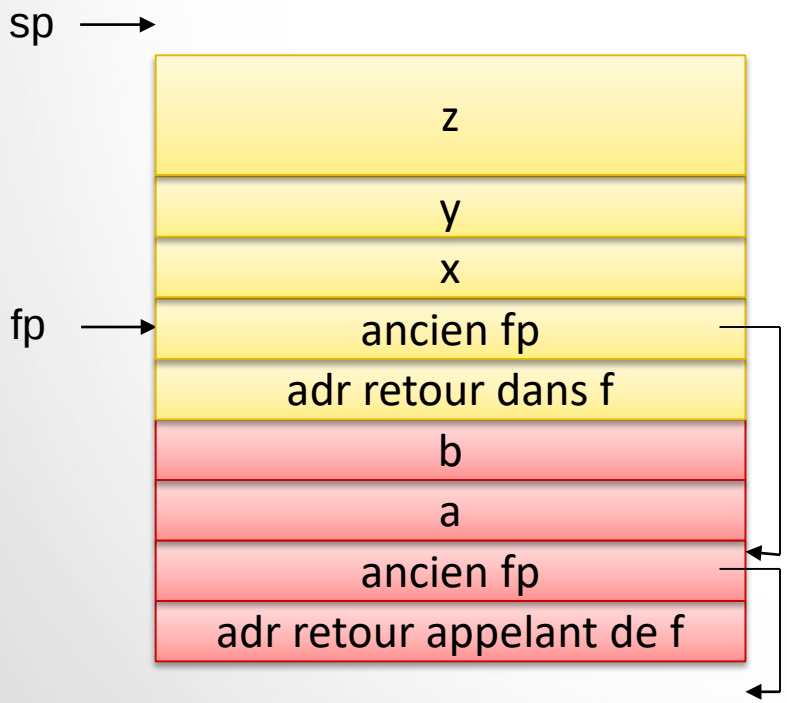
```
void f() {
    int a, b;
    g(a, b);
}
void g(int x, int y) {
    double z;
    h(z);
}
void h(double a) {
    ...
}
```

« Run Time »
Exemple de Gestion de la Pile

```
void f() {
    int a, b;
    g(a, b);
}
void g(int x, int y) {
    double z;
    h(z);
}
void h(double a) {
    ...
}
```



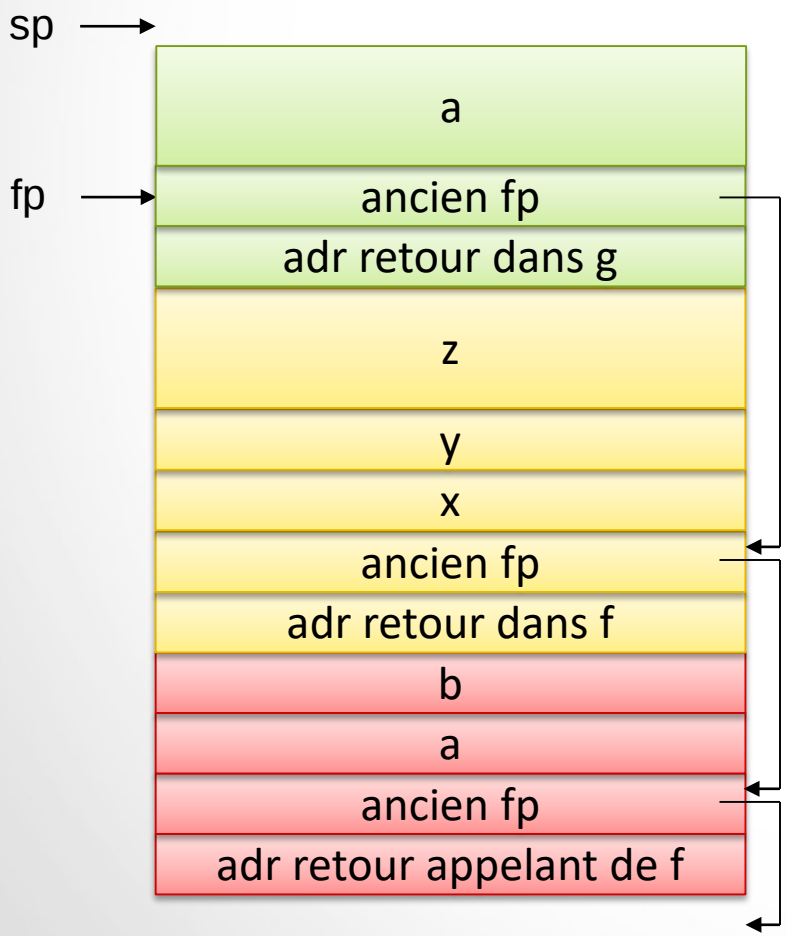
« Run Time »
Exemple de Gestion de la Pile




```
void f() {
    int a, b;
    g(a, b);
}
void g(int x, int y) {
    double z;
    h(z);
}
void h(double a) {
    ...
}
```

UNIVERSITÉ CÔTE D'AZUR

« Run Time »
Exemple de Gestion de la Pile




```
void f() {
    int a, b;
    g(a, b);
}
void g(int x, int y) {
    double z;
    h(z);
}
void h(double a) {
    ...
}
```

UNIVERSITÉ CÔTE D'AZUR

Exemple Génération de Code

https://godbolt.org/

Code C

```
void h(double a) {
}

void g(int x, int y) {
    double z;
    h(z);
}

void f() {
    int a, b;
    g(a, b);
}
```

Code machine

```
h(double):
        push    rbp
        mov     rbp, rsp
        movsd   QWORD PTR [rbp-8], xmm0
        nop
        pop     rbp
        ret
g(int, int):
        push    rbp
        mov     rbp, rsp
        sub     rsp, 32
        mov     DWORD PTR [rbp-20], edi
        mov     DWORD PTR [rbp-24], esi
        mov     rax, QWORD PTR [rbp-8]
        mov     QWORD PTR [rbp-32], rax
        movsd   xmm0, QWORD PTR [rbp-32]
        call    h(double)
        nop
        leave
        ret
f():
        push    rbp
        mov     rbp, rsp
        sub     rsp, 16
        mov     edx, DWORD PTR [rbp-8]
        mov     eax, DWORD PTR [rbp-4]
        mov     esi, edx
        mov     edi, eax
        call    g(int, int)
        nop
        leave
        ret
```

UNIVERSITÉ CÔTE D'AZUR

Quizz: Exemple 1

✓ **Quel est le problème dans ce code ?**

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
int * foo(void){
    int t[] = {1, 2, 3};
    return t;
}

int main(void) {
    int * t = foo();
    for (int i = 0; i < 3; i++) {
        printf("%d ", t[i]);
    }
    printf("\n");
    return EXIT_SUCCESS;
}
```

UNIVERSITÉ CÔTE D'AZUR

Quizz: Exemple 2

✓ **Que se passe-t-il avec ce code ?**

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

int * foo(void){
    int v[] = {1, 2, 3};
    int *u = v;
    return u;
}
```

```
int main(void) {
    int i;
    int * t = foo();

    for (i = 0; i < 3; i++) {
        printf("%d ", t[i]);
    }
    printf("\n");
    return EXIT_SUCCESS;
}
```

UNIVERSITÉ CÔTE D'AZUR

Quizz: Exemple 3

✓ **Que se passe-t-il avec ce code ?**

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

int * foo(void){
    int v[] = {1, 2, 3};
    int *u = v;
    return u;
}

void bar(void) {
    int w[] = {4, 8, 16, 32};
}
```

```
int main(void) {
    int * t = foo();
    bar();

    int i;
    for (i = 0; i < 3; i++) {
        printf("%d ", t[i]);
    }
    printf("\n");
    return EXIT_SUCCESS;
}
```

UNIVERSITÉ
CÔTE D'AZUR

Bibliothèques

Edition de liens statique et dynamique

UNIVERSITÉ CÔTE D'AZUR

Bibliothèques (« *Library* »)

- ✓ Fichier unique contenant un ensemble de fichiers-objets précompilés
- ✓ Deux types de bibliothèques existent:
  - Bibliothèques statiques
    - Copiées dans les programmes qui les utilisent

Unix / Linux	Windows	Mac OS
.a	.lib	.a

  - Bibliothèques partagées
    - Associées aux programmes au moment où ils sont exécutés

Unix / Linux	Windows	Mac OS
.so	.dll	.dylib

- ✓ Commandes communes Unix/Linux
  - `ld` : lie des fichiers `.o` entre eux
  - `nm`, `readelf` : lisent le contenu d'une bibliothèque ou d'un programme

UNIVERSITÉ CÔTE D'AZUR

Exécutable et Bibliothèques

- ✓ Exécutable utilisant une ou des bibliothèques
  - Le cas par défaut quand on compile avec `gcc`

    gcc *options* **-o** myprog prog1.o prog2.o
  - Un tel programme utilise au moins la biblothèque C partagée

- ✓ Exécutable n'utilisant aucune bibliothèque
  - Pour qu'un exécutable n'utilise aucune bibliothèque partagée (même la bibliothèque C)

    gcc *options* **-static -o** myprog prog1.o prog2.o

UNIVERSITÉ CÔTE D'AZUR

Bibliothèques Statiques

- ✓ Fichier unique contenant un ensemble de fichiers-objets précompilés
- ✓ L'éditeur de liens traite les bibliothèques statiques de manière spéciale
  - Seul le code nécessaire au programme (les définitions d'objets utilisés par le programme) iront dans le binaire exécutable
- ✓ Commandes Unix/Linux
  - `ar` : crée une bibliothèque statique par regroupement de `.o`
  - `ranlib` : dote la bibliothèque d'un index (aide pour `ld`)

UNIVERSITÉ CÔTE D'AZUR

Edition de Liens Statique

✓ Création de la bibliothèque

```
gcc options -c libobj1.c
gcc options -c libobj2.c
…
ar -r libobj.a libobj1.o libobj2.o …
ranlib libobj.a
```

✓ Utilisation de la bibliothèque

```
gcc options -o myprog prog1.o prog2.o libobj.a
```

ou

```
gcc options -o myprog prog1.o prog2.o –L dir -lobj
```

UNIVERSITÉ CÔTE D'AZUR

Bibliothèques Partagées

- ✓ Eviter la duplication du code des bibliothèques courantes (e.g., `libc`, `libstdc++`)
  - dans le fichier binaire exécutable
  - en mémoire
- ✓ Permettre de modifier l'implémentation d'une bibliothèque (mais pas son interface !)
  - sans refaire l'édition de liens des applications
  - sans « rebooter »
- ✓ Permettre le chargement à la demande de bibliothèques
- ✓ Nommage et versions
  - Sous Windows
    - Nom avec extension `.dll`
      - Version : cauchemar ! (amélioration avec .Net)
    - Sous Unix/Linux (principe !)
      - `libstdc++.so.3.5`

Nom de base. extension so (shared object), numéro majeur (version interface), numéro mineur (implem interface)

UNIVERSITÉ CÔTE D'AZUR

Edition de Liens Dynamique

- ✓ **Création de la bibliothèque**

```
gcc options -fPIC -c libobj1.c
gcc options -fPIC -c libobj2.c
…
gcc -shared -Wl,-soname,libobj.so.3 -o libobj.so.3.2
libobj1.o libobj2.o …
```

C'est la lettre L minuscule, il n'y a pas d'espace entre les virgules

Nom de la bibliothèque

Fichier contenant le code de la bibliothèque

- ✓ **Utilisation de la bibliothèque**

```
gcc options -o myprog prog1.o prog2.o libobj.so
```

ou

```
gcc options -o myprog prog1.o prog2.o -L dir -lobj
```

(on suppose qu'il n'existe pas de `libobj.a`, sinon utiliser option `-Bdynamic`)

- ✓ ***La bibliothèque devra être accessible à l'exécution (voir plus loin)***

UNIVERSITÉ CÔTE D'AZUR

Chargement Dynamique de Bibliothèque

- ✓ Possibilité de chargement/déchargement à la demande d'une bibliothèque sans avoir effectué au préalable une édition de liens avec elle
- ✓ Sous Unix/Linux, utilisation d'une bibliothèque de chargement dynamique, `libdl.so` (en-tête `<dlfcn.h>`)
  - `dlopen()` ouverture d'une bibliothèque partagée
  - `dlclose()` fermeture de la bibliothèque
  - `dlsym()` recherche d'un symbole dans la bibliothèque
  - `dlerror()` traitement des erreurs
- ✓ Mécanisme
  - Pour le chargement dynamique de classes dans Java
  - Pour gérer la notion de plugin ou de addons

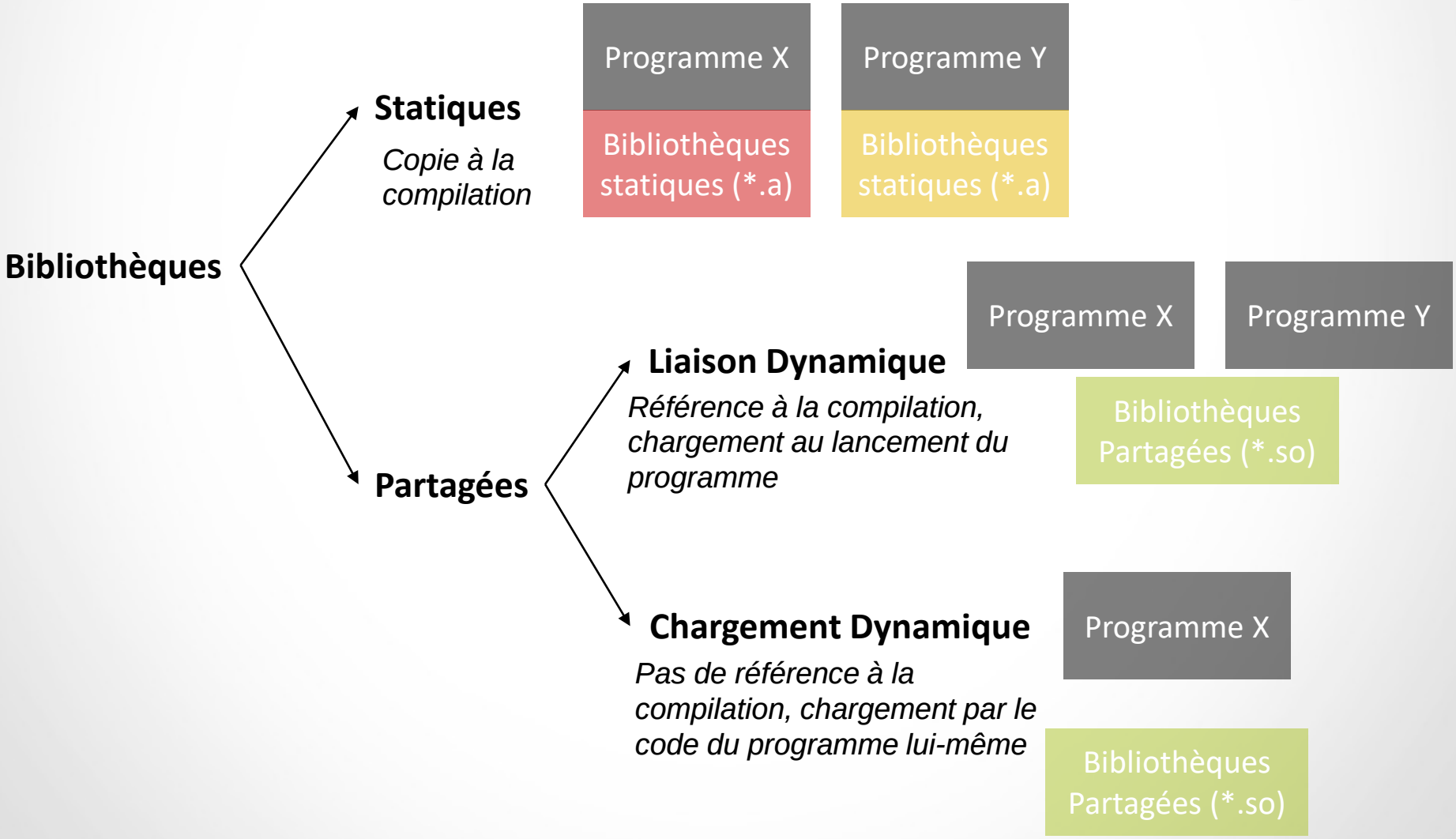
UNIVERSITÉ CÔTE D'AZUR

Commandes de Manipulation des Bibliothèques partagées

- ✓ Lecture du contenu des bibliothèques partagées
  - `readelf`
- ✓ Bibliothèques partagées utilisées par un exécutable ou une autre bibliothèque
  - `ldd`
- ✓ Recherche des bibliothèques partagées à l'exécution
  - Chargeur dynamique : `ld.so`
  - Variable d'environnement `LD_LIBRARY_PATH`
  - Commande `ldconfig` et fichier de configuration `ld.so.conf` (réservé au super-utilisateur)

UNIVERSITÉ CÔTE D'AZUR

Une Vision Synthétique sur les Bibliothèques



UNIVERSITÉ
CÔTE D'AZUR

Organisation du code

Format ELF

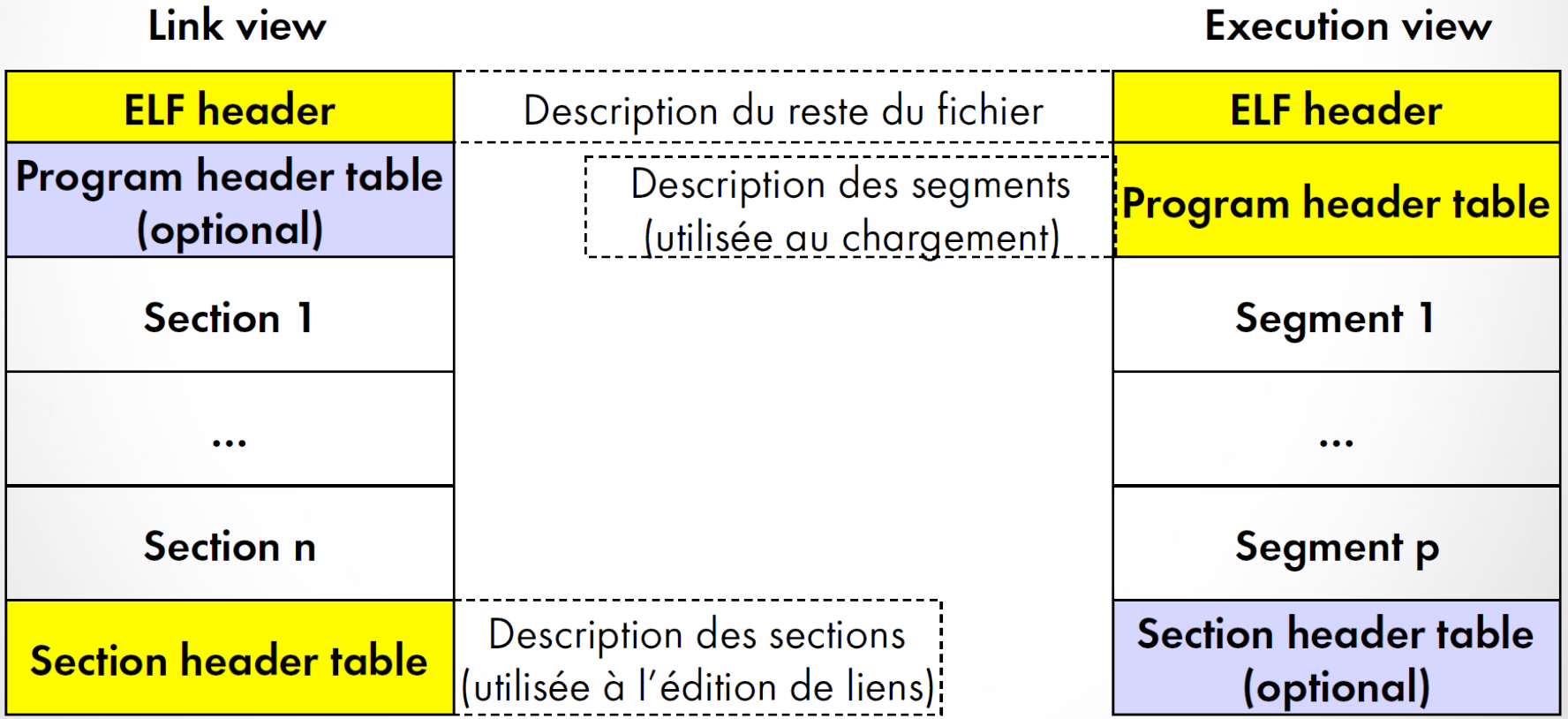
UNIVERSITÉ CÔTE D'AZUR

Format des objets, Bibliothèques et Exécutables

- ✓ Ancien format `a.out` obsolète
- ✓ ELF : Executable and Linking Format
  - Format unique pour fichiers exécutables, objets, et bibliothèques (partagées)
  - Format en principe portable
  - Fichier exécutable (*executable file*)
    - Information nécessaire au SE pour créer l'image mémoire d'un processus
  - Fichier relogeable (*relocatable file*)
    - Fichier destiné à subir une édition de liens avec d'autres fichiers objets pour créer un exécutable ou une bibliothèque partagée
  - Fichier objet partagé (*shared object file*)
    - Information pour l'édition de liens statique ou dynamique
  - Lecture des informations d'un fichier ELF
    - `readelf`
    - bibliothèque `libelf`

UNIVERSITÉ CÔTE D'AZUR

Format ELF 1/3



UNIVERSITÉ CÔTE D'AZUR

Format ELF 2/3

- ✓ Sections
  - Code, données
  - Tables de chaînes de caractères
  - Information d'édition de liens, de relogement
  - Tables de symboles, informations de « debugging »
  - Commentaires, notes…
- ✓ Segments
  - Groupement des informations éparpillées dans diverses sections afin de construire l'image mémoire du processus

UNIVERSITÉ
CÔTE D'AZUR

Format ELF 3/3