

Systèmes d'Exploitation Avancés

Pablo Oliveira

ISTY

Informations Administratives (1)

- Cours Systèmes Exploitations Approfondissement (SEA)
- Site du cours sur ECAMPUS :
 - Documents, sujets, et notes de cours
- Bibliographie :
 - *Operating System Concepts, 8th Edition*, de Silberschatz, Galvin, and Gagne
 - *Modern Operating Systems, 4th Edition*, de Tanenbaum
 - *Stanford CS 140 lectures Winter'14*, de David Mazières

Informations Administratives (2)

- Cours : Pablo de Oliveira C. (pablo.oliveira@uvsq.fr)
- TDs : Jerome Gurghem (jgurhem@aneofr.fr)
- Forum questions sur le moodle
 - Poser des questions sur les cours, TDs, projets.
 - Tout le monde est encouragé à répondre !
- Dates clés :
 - Cours : Mercredi matin
 - TDs : Mercredi après-midi
- Contrôle Continu
 - 40% Mini-Projet noté (shell) + qcms
 - 60% Contrôle

Sujets abordés

- Threads et Processus
- Concurrency et Synchronisation
- Ordonnancement
- Mémoire virtuelle
- Entrées/Sorties
- Protection & Sécurité
- Systèmes de Fichiers
- Machines Virtuelles
- Note : Nous prendrons souvent Unix comme exemple
 - SE actuels fortement influencés par Unix
 - Windows est l'exception

Systèmes d'Exploitation 1

- Présentation des SE du point de vue de *l'utilisateur*
 - Utilisation du shell (commandes de base, redirections, tubes/pipes)
 - Création de threads et processus
 - Introduction à l'ordonnancement
 - Utilisation des principaux appels systèmes
 - Projet : système de fichiers virtuel

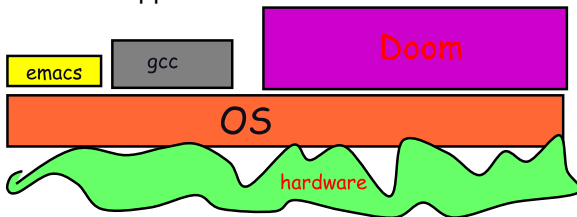
Objectifs du cours

- Présentation des SE du point de vue du *concepteur*
- Approfondir les concepts fondamentaux des SE
 - Comprendre le SE fait de vous de meilleurs programmeurs
- Comprendre les enjeux et l'implémentation des mécanismes des SE
 - Caching, concurrency, memory management, I/O, protection
- Vous apprendre à travailler avec un projet logiciel complexe
 - Attention : ce cours est considéré difficile par de nombreux étudiants
 - TDs : beaucoup de code à rendre
 - Travail régulier et soutenu nécessaire

- Ne pas utiliser/récupérer les solutions des autres groupes
 - Vos rendus sont comparés avec un logiciel anti-plagiat
 - Ne publiez pas vos solutions
 - Respectez la charte anti-plagiat de l'UVSQ (document disponible sur le portail de l'ISTY)
- Citez tout code dont vous vous inspirez
 - Des points seront déduits si une grosse partie rendu est du code extérieur. Mais les emprunts cités n'entraîneront pas de sanctions.

Qu'est ce qu'un système d'exploitation ?

- Interface entre les applications et le matériel

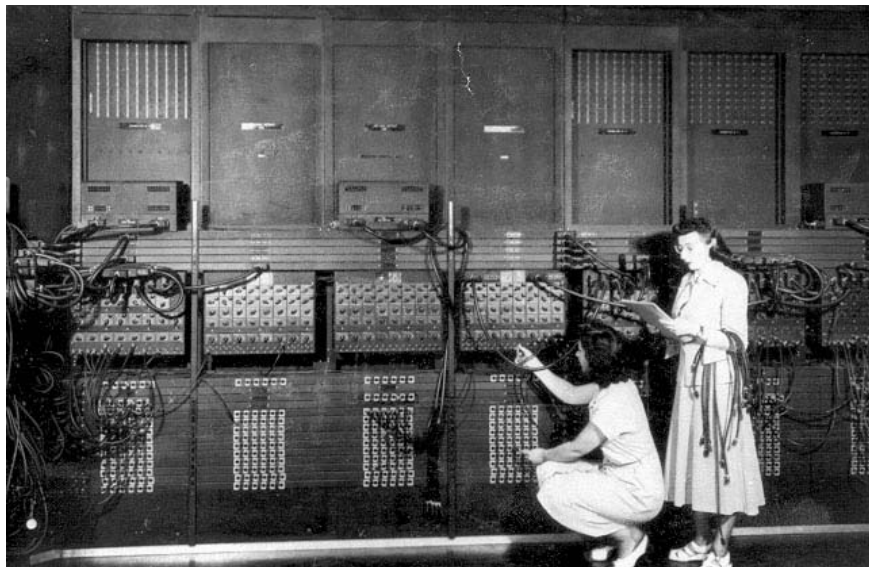


- Rends le matériel utilisable par le programmeur
- [Souvent] Abstrait le matériel
 - Gère et cache les détails du matériel
 - Accède au matériel à travers des interfaces bas niveau interdites aux applications
- [Parfois] Protège
 - Evite qu'un utilisateur/processus puisse lire/détruire les données d'un autre utilisateur/processus

Pourquoi étudier les systèmes d'exploitation ?

- Concepts système importants pour bien programmer la machine
 - Important pour HPC ou applications critiques
 - Algorithmes réutilisables dans d'autres contextes
 - Important pour comprendre l'interaction avec le matériel
- Comprendre les Serveurs Haute Performance
 - Mêmes problèmes que dans un SE
- Comprendre le Partage des Ressources
 - Durée de la batterie, spectre Hertzien, etc.
- Comprendre la Sécurité
 - Isolation, capacités, DoS, etc.
- Apparition de nouveaux SE embarqués (eg. Android)
- Navigateur ressemble de plus en plus à un SE (eg. Chrome isolation des tabs)

Années 40-50 : Super calculateur ENIAC



Années 40-50 : Super calculateur ENIAC

- 1946 : P. Eckert et J. Mauchly, simulation des tirs d'artillerie
 - fréquence 100kHz
 - Turing-complet
 - Programmable avec des interrupteurs et tableau de connexion

Système Exploitation des premiers Calculateurs ?

- Calculateurs gigantesques :
 - Dizaines de milliers de relais mécaniques
 - Remplacés par des lampes
- Programmation :
 - Manuelle
 - En langage machine avec des panneaux de connexion
 - Pas de SE, le programme tourne directement sur la machine
 - 1950 : généralisation des cartes perforées

IBM 701



Traitements par lots (55-65)

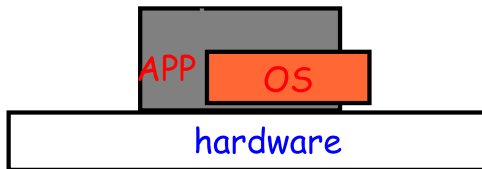
- Invention des transistors en silicium (1954) :
 - plus petit et rapide que les lampes
 - Bell Labs TRADIC (1MHz) et IBM 608
- Opérateurs :
 - Chargés de la surveillance du système
 - Allocation et supervision des tâches
- Les tâches sont traitées par lots :
 - Des opérateurs chargent les cartes perforées pour chaque programme

Moniteur Résident

- Bandes magnétiques remplacent les cartes perforées
- Moniteur résident : premier SE
 - Il charge automatiquement les tâches successivement \$LOAD et \$RUN
 - Problème : inactivité du CPU pendant les chargements depuis la bande.

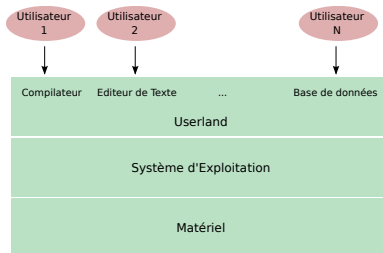
Systèmes d'Exploitation Primitifs

- Juste une librairie de services standards [pas de protection]



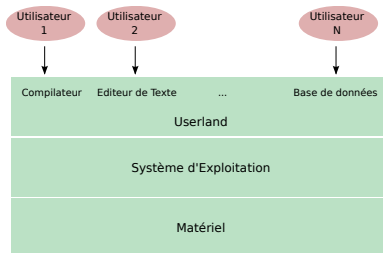
- Interface standard communique avec des pilotes matériels
- Hypothèses simplificatrices
 - Un seul programme tourne à la fois
 - Pas de programmes ou utilisateurs malicieux (mauvaise hypothèse)
- Problème : Mauvaise utilisation des ressources
 - ...du matériel (e.g., CPU attends que le disque envoie les données)
 - ...de l'humain (doit attendre la fin d'un programme pour en lancer un nouveau)

Execution multi-tâche



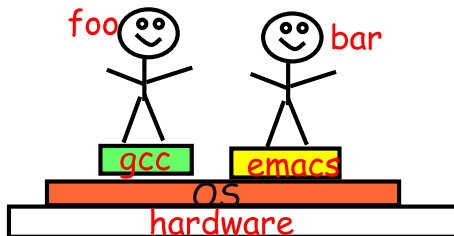
- Idée : Executer plusieurs processus en "même temps"
 - Lorsque un processus bloque (attente disque, réseau, entrée clavier, etc.) on execute un autre processus
- Problème : Que peut faire un processus malicieux/mal écrit ?

Execution multi-tâche



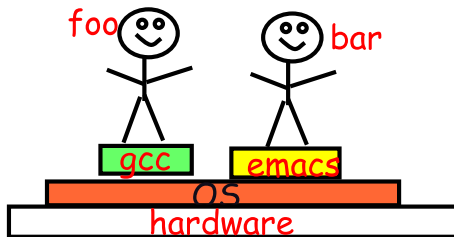
- Idée : Executer plusieurs processus en "même temps"
 - Lorsque un processus bloque (attente disque, réseau, entrée clavier, etc.) on exécute un autre processus
- Problème : Que peut faire un processus malicieux/mal écrit ?
 - Boucle infinie et ne jamais lâcher le CPU
 - Écraser la mémoire d'autres processus pour les faire crasher
- SE propose des mécanismes pour empêcher ces problèmes
 - *Préemption* – interrompt régulièrement le processus boucle infinie
 - *Protection mémoire* – Chaque processus ne peut écrire que sur sa propre mémoire

SE Multi Utilisateurs



- Idée : Avec N utilisateurs, système n'est pas forcément N fois plus lent
 - Les demandes de CPU, mémoire, etc. sont intermittentes
 - Tous les programmes n'ont pas besoin de la même ressource simultanément
- Où ça peut coïncider ?

SE Multi Utilisateurs

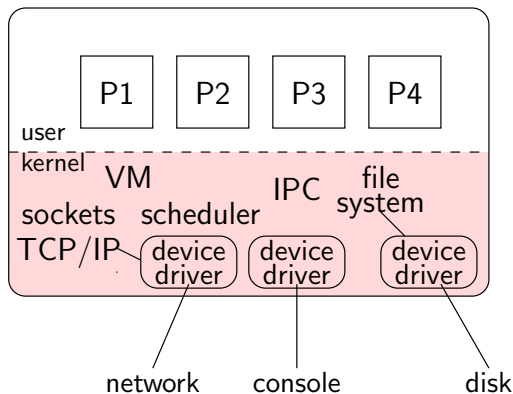


- Idée : Avec N utilisateurs, système n'est pas forcément N fois plus lent
 - Les demandes de CPU, mémoire, etc. sont intermittentes
 - Tous les programmes n'ont pas besoin de la même ressource simultanément
- Où ça peut coïncider ?
 - Utilisateurs gloutons (mise en place de politiques d'allocation)
 - Mémoire utilisée par l'ensemble des processus supérieure à la mémoire disponible (virtualisation)
 - Ralentissements super-linéaire (trashing)
- Les SE mettent en place des *protections* pour éliminer ces problèmes

Protection

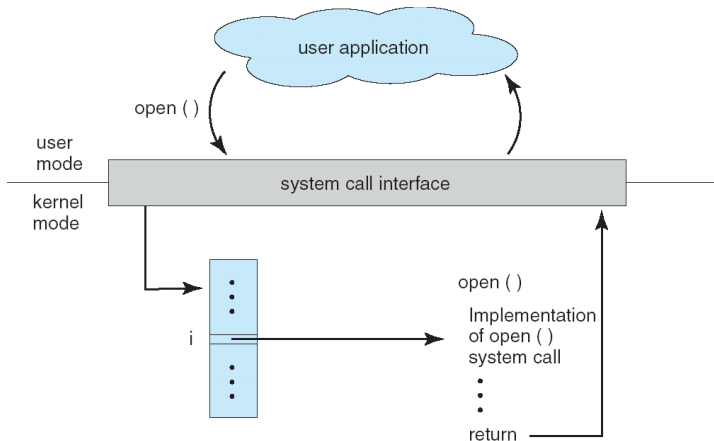
- Mécanismes pour isoler les utilisateurs/processus malicieux
- Prémption :
 - Donner une ressource, mais la reprendre au bout d'un certain temps
- Médiation :
 - SE est le médiateur entre les processus et les ressources
 - Contrôle toutes les ressources qu'une application peut utiliser (table de capacités)
 - Pour chaque demande le SE vérifie que l'application a le droit de faire cette demande
- Mode privilégié dans le CPU
 - Applications tournent en *mode utilisateur*
 - SE tourne en *mode privilégié* (ou mode noyau)
 - Les opérations de protection ne sont disponibles qu'en *mode privilégié* (par exemple éditer la table de capacités).

Structure d'un SE typique



- Les applications tournent en mode utilisateur (P[1-4])
- Le noyau tourne en mode privilégié [en grisé]
 - Crée et détruit les processus
 - Décide et vérifie qui accède au matériel

Appel Système

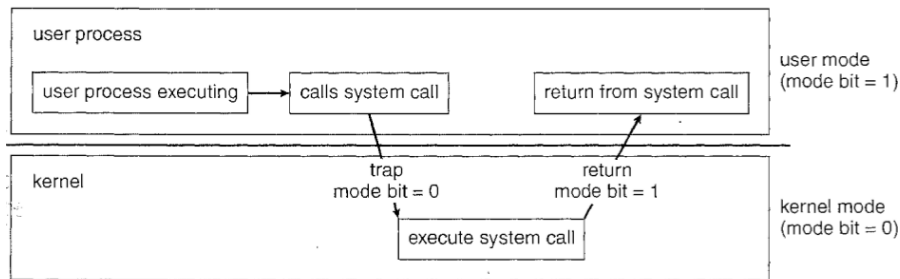


- Les applications invoquent le noyau avec des *appels système*
 - Des instructions assembleur spéciales transfèrent le contrôle au noyau
 - ...qui transfère l'appel à l'une des 100+ routines gestionnaires

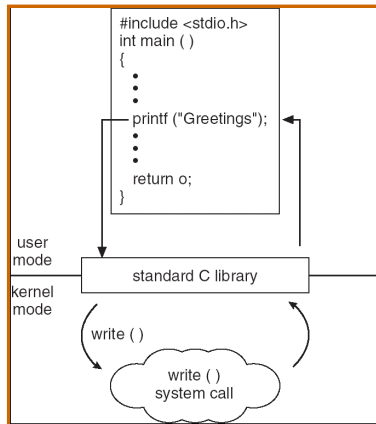
Appel Système (suite)

- Objectifs : Faire des choses que l'application ne peut pas faire en mode utilisateur
 - Semblable à un appel de bibliothèque mais en mode privilégié
- Noyau expose une interface d'appels systèmes bien définie
 - L'application configure les arguments de l'appel et appellent une "trappe" (ou interruption logicielle)
 - Le noyau répond à la demande et retourne le résultat
- Exemple : interface POSIX/UNIX sont des appels systèmes
 - open, close, read, write, ...
- Fonctions de plus haut niveau sont implémentées à l'aide d'appels système
 - printf, scanf, gets, etc.

Mode privilégié



Exemple d'un appel système



- Librairie standard implémentée à l'aide d'appels systèmes
 - *printf* – dans la libc, mêmes privilèges que l'utilisateur
 - appelle *write* – dans le noyau, qui peut écrire sur le disque dur, ou envoyer des bits sur les ports de sortie

UNIX appels système pour les Entrées/Sorties

- Les applications ouvrent des fichiers (ou des périphériques)
 - Les E/S opèrent sur des descripteurs de fichiers (des entiers)
- `int open(char *path, int flags, /*mode*/...);`
 - `flags` : `O_RDONLY`, `O_WRONLY`, `O_RDWR`
 - `O_CREAT` : crée le fichier s'il n'existe pas
 - `O_TRUNC` : tronque le fichier
 - `O_APPEND` : ouvre le fichier et positionne le curseur d'écriture en fin de fichier
 - `mode` : avec `O_CREAT` donne les permissions du fichier
- Retourne un descripteur de fichier

En cas d'erreur ?

- Que se passe t'il si `open` rencontre une erreur ?
- La majorité des appels systèmes retournent `-1` en cas d'erreur
 - L'erreur spécifique est renseignée dans la variable globale `int errno`
- `#include <sys/errno.h>` contient la liste des codes possibles
 - `2 = ENOENT` "No such file or directory"
 - `13 = EACCES` "Permission Denied"
- `perror` permet d'afficher un message adapté
 - `perror ("initfile");`
→ "initfile: No such file or directory"

Operations sur des descripteurs de fichier

- `int read (int fd, void *buf, int nbytes);`
 - Retourne le nombre d'octets lus
 - Retourne 0 lorsque la fin du fichier (EOF) est atteinte et -1 en cas d'erreur
- `int write (int fd, void *buf, int nbytes);`
 - Retourne le nombre d'octets écrits, -1 en cas d'erreur
- `off_t lseek (int fd, off_t pos, int whence);`
 - `whence` : relatif au 0 – début, 1 – courant, 2 – fin
 - Retourne la position précédente dans le fichier, et -1 en cas d'error
- `int close (int fd);`

Numéros de descripteurs de fichiers

- Les descripteurs de fichiers sont propres à un processus
 - ... mais ils sont hérités par ses fils
 - Quand un processus crée un processus fils, ils se partagent des descripteurs
- Les descripteurs 0, 1, et 2 ont un sens special
 - 0 – “entree standard” (`stdin` ANSI C)
 - 1 – “sortie standard” (`stdout` ANSI C)
 - 2 – “erreur standard” (`stderr` ANSI C)
 - Normalements ils sont rattachés à un terminal
- Exemple : `cat.c`
 - Ecrit le contenu d'un fichier sur `stdout`

cat.c

```
void
typefile (char *filename)
{
    int fd, nread;
    char buf[1024];

    fd = open (filename, O_RDONLY);
    if (fd == -1) {
        perror (filename);
        return;
    }

    while ((nread = read (fd, buf, sizeof (buf))) > 0)
        write (1, buf, nread);

    close (fd);
}
```

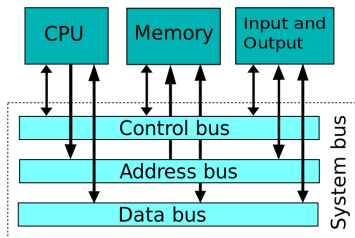
Traitement des interruptions

- Une interruption suspend la tâche en cours.
- Chaque interruption est associée à une routine de traitement
- Un vecteur d'interruption situé à un endroit fixe en mémoire contient les adresses de chaque routine
- On exécute la routine de traitement de l'interruption, puis on revient au traitement précédent.
- Les routines doivent sauvegarder l'état du processeur et l'adresse du traitement interrompu.

Deux interruptions en même temps ?

- Masquage simple
 - Le traitement des interruptions est différé jusqu'à la fin du traitement de l'interruption en cours.
- Masquage sélectif
 - Les interruptions ont des niveaux de priorité.
 - Les interruptions les plus prioritaires peuvent interrompre celles de niveau inférieur.

Exemple de communication périphérique



- ❶ Le CPU écrit sur la ligne d'*adresse*, la position du disque à lire
 - ❷ Le CPU active la ligne de *contrôle* pour signaler au contrôleur disque
 - ❸ Le contrôleur disque écrit le contenu de la position demandée sur la ligne de *données*
 - ❹ Il signale avec une interruption que les données sont prêtes
- Inefficace pour des gros transferts (DMA)

Différents contextes d'exécution

- Le système se trouve habituellement dans un des contextes suivants
- *Processus Utilisateur* : execution d'une application en mode utilisateur
- *Processus Noyau* :
 - Execution de code noyau à la demande d'une application
 - eg. traitement d'un appel système
 - Exception (segmentation fault, division par zéro, etc.)
 - Execution d'un processus noyau (serveur de fichiers nfs)
- *Code noyau hors processus*
 - Interruption d'horloge
 - Interruption matérielle
 - Interruption logicielle, "Tasklets" (dans linux)
- Changement de Contexte – Changer les espaces d'adresse
- En attente (Idle) – rien à faire (souvent on "éteint" ou "ralentit" le CPU)

Mécanismes de changement de contexte

- Utilisateur → Processus Noyau : appel système, exception
- Processus Noyau → Utilisateur/Changement Contexte : return
- Processus Noyau → Changement Contexte : sleep
- * → Gestionnaire d'interruption matérielle : IRQ matériel
- Changement de Contexte → Processus Utilisateur/Noyau

Préemption CPU

- Éviter la monopolization du CPU
- E.g., un timer noyau reprends la main tous les 10 ms
 - Interruption matérielle d'horloge
 - Nécessite le mode privilégié pour reprogrammer l'horloge hardware
- Le gestionnaire d'interruption du noyau
 - Prends le contrôle quand l'interruption d'horloge se déclenche
 - Si d'autres processus sont en attente du CPU, il leurs donne la main
 - Protection : mode privilégié nécessaire pour définir l'adresse du gestionnaire
 - L'utilisateur ne peut pas "hacker" la routine de traitement
- Resultat : un processus malicieux ne peut pas affamer tous les autres
 - Pire cas : tout le monde aura $1/N$ du CPU si N processus CPU-gloutons

Protection != Sécurité

- Comment monopoliser le CPU quand même ?

Protection != Sécurité

- Comment monopoliser le CPU quand même ?
- Utiliser plusieurs processus : Fork bomb
- Jusqu'à encore récemment, le code suivant "met à genoux" plusieurs SE

```
int main() { while(1) fork(); }
```

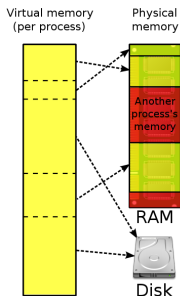
- Crée des processus jusqu'à épuisement des ressources
- Utiliser toute la mémoire : Malloc bomb
- Résolu par une combinaison de technique + social
 - Solution technique : limiter les processus par utilisateur (ulimit,)
 - Solution technique : limiter le débit de création (grsec)
 - Social : Rebooter et crier sur les utilisateurs embêtants :-)
 - La bonne solution dépend de l'usage
 - Serveur de la NSA vs. Serveur Imprimante dans une PME

Allocation et Protection de la mémoire

- Le noyau alloue la mémoire
- Éviter qu'une tâche utilisateur détruise les données d'une autre tâche
 - Protection mémoire
- Gérer efficacement la mémoire :
 - Si la RAM est pleine, le SE va déplacer la mémoire de certains processus sur un stockage secondaire (disque)
 - swap

Protection Mémoire (1/2)

- Comment éviter que les processus écrivent dans la mémoire d'autres processus
- Idée Mémoire Virtuelle : Chaque processus ne voit que sa mémoire à lui.



Protection Mémoire (2/2)

- Le CPU traduit les adresses virtuelles en adresse physiques en utilisant des tables de traduction à chaque accès.
- La table de traduction est changée à chaque changement de contexte
- Elle ne contient que des traductions vers des adresses autorisées
- Le SE peut marquer comme invalides certaines adresses virtuelles
 - Détecter les fautes de segmentation et interrompre les programmes
 - Allocation paresseuse + SWAP
(e.g., ramener les pages du SWAP uniquement lorsqu'elles sont accédées)
- Le SE peut marquer certaines adresses comme lecture seule
 - Partage de données entre processus (par exemple le code exécutable de la libc)
 - De nombreuses autres optimizations (copy on write par exemple)
- Le SE peut marquer certaines adresses comme non exécutables
 - Rends difficile les attaques par injection de code

Temps partagé (premier vrai SE)

- 1961 CTSS (Compatible Time Sharing System)
 - Plusieurs utilisateurs en simultané
 - Ordonnanceur de tâches avec priorité
 - Mémoire segmentée : sépare SE et userland
 - Interrupteur d'horloge pour interrompre les tâches
- Suivi de MULTICS (Multiplexed Information and Computing System)

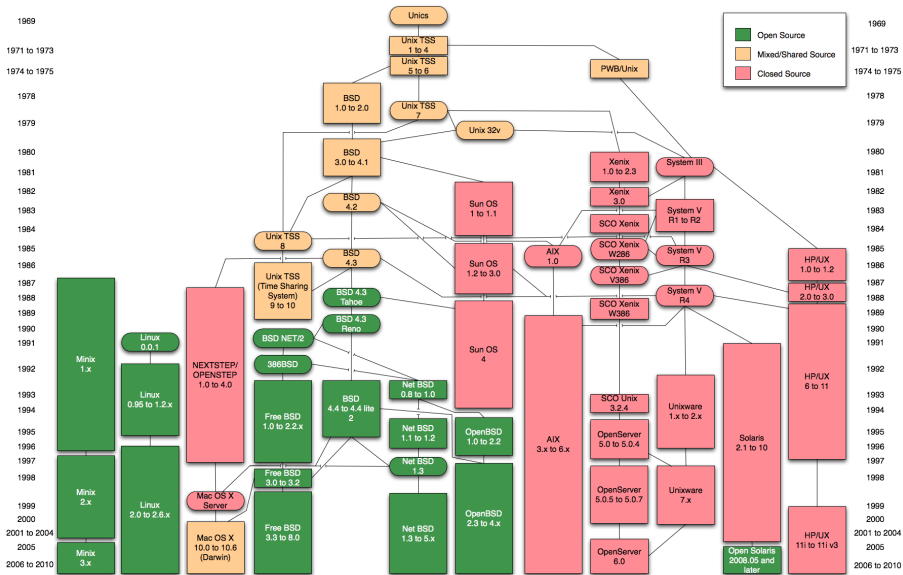


• IBM 7094

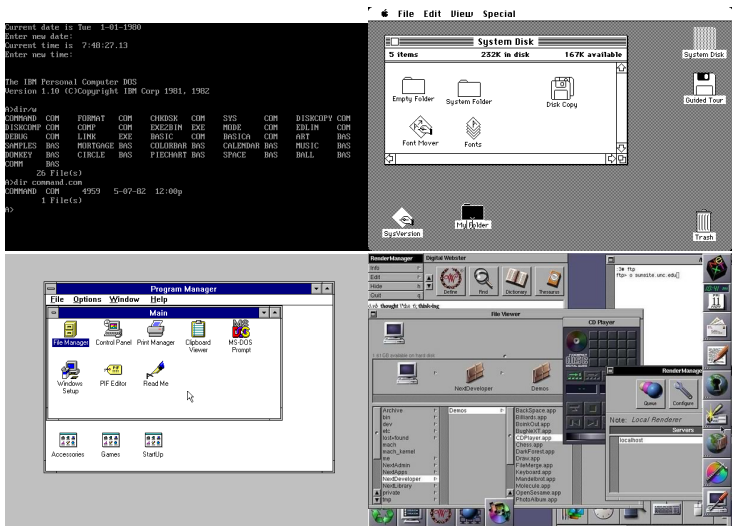
Developpement des SE

- Ken Thompson adapte MULTICS sur un PDP-7 (mini-ordinateur),
- 1969 : ce travail devient UNIX (Bell Labs), qui donnera naissance à SYSTEM V et BSD
- 1981 : Bill Gates écrit MS-DOS (Microsoft Disk Operating System)
 - Modification du DOS de Seattle Computer Products
- 1987 : Tanenbaum écrit MINIX (SE micro-noyau) qui servira d'inspiration à Linux
- 1991 : Torvalds libère la première version de Linux

Famille Unix



Quelques captures d'écran "vintage"



(1) DOS '81 (2) Classic '84 (3) Window 3.1 '92 (4) OpenStep '89