







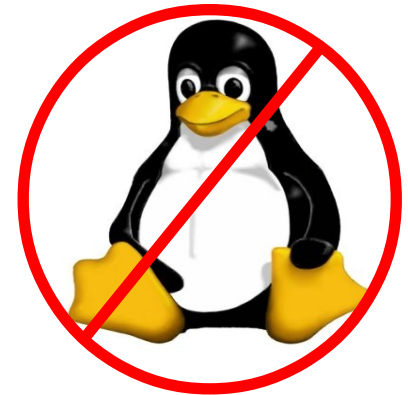


Plan du cours

-  Taxonomie des systèmes informatiques
-  Systèmes temps réel
-  Spécificités des OS pour le temps réel
-  L'OS Linux/RTAI pour le temps réel
-  Systèmes embarqués
-  Linux pour l'embarqué
-  **Marché des OS pour le temps réel et l'embarqué**
-  Modélisation d'applications temps réel avec UML 2.x

Les solutions TR embarquées « classiques »

- VxWorks
- VRTX
- QNX
- pSOS+
- μ C/OS II
- OSE
- RTOS conformes OSEK-VDX
- Windows Embedded Compact
- Nucleus RTOS
- eCOS
- FreeRTOS



VxWorks (1)

WIND RIVER

- Distribué par **Wind River**
- **Caractéristiques :**
 - noyau temps-réel multi-tâches
 - cibles supportées : ARM (9,11), Intel Pentium (2, 3, 4, M), MIPS (4K, 5K), PowerPC ...
- **Architecture :**
 - Micro-noyau (WIND)
 - Adaptable au besoins de l'utilisateur
 - Profil noyau minimal : ~100Ko
 - Profil noyau de base : ~150Ko
 - Profil OS de base (noyau de base + qqes supports) : ~250Ko



VxWorks (2)

WIND RIVER

- **Services :**

- ordonnancement à priorités (256 niveaux): préemptif à priorités fixes
- ordonnancement sans priorités : round-robin
- synchronisation (sémaphores, signaux, RPC)
- gestion des ressources partagées: Priority Ceiling Protocol (PCP)
- gestion des interruptions (conforme POSIX), support interruptions imbriquées
- communication (files de messages - BALs, pipes, mémoire partagée, RPC)
- gestion MMU en option, allocation dynamique

VRTX



- Distribué par **Mentor Graphics**



- **Caractéristiques :**

- noyau temps-réel multi-tâches
- cibles supportées : PowerPC, ARM, 68K, CPU32, CPU32+, M-CORE, 80x86, ...

- **Services :**

- ordonnancement à priorités (256 niveaux): préemptif à priorités fixes
- ordonnancement sans priorités : round-robin
- synchronisation (sémaphores, événements)
- gestion des ressources partagées: Priority Inheritance Protocol (PIP)
- gestion des interruptions (conforme POSIX), support interruptions imbriquées
- communication (files de messages - BALs, pipes, mémoire partagée)
- gestion MMU, allocation dynamique

QNX (1)



- Distribué par **QNX Software Systems**

- **Caractéristiques :**

- système d'exploitation temps-réel type UNIX, à micro-noyau
- cibles supportées : famille x86, MIPS, PowerPC, SH-4, ARM, StrongARM, xScale

- **Services :**

- ordonnancement à priorités (32 niveaux): préemptif à priorités fixes
- ordonnancement sans priorités : round-robin
- synchronisation (sémaphores, signaux, messages)
- gestion des ressources partagées: Priority Inheritance Protocol (PIP)
- gestion des interruptions (conforme POSIX), support interruptions imbriquées
- communication (files de messages - BALs, pipes)
- gestion MMU, allocation dynamique

pSOS+

WIND RIVER

- Distribué par **Wind River**

- **Caractéristiques :**

- système d'exploitation temps-réel
- cibles supportées : Motorola/IBM PowerPC, MIPS

- **Services :**

- ordonnancement à priorités : préemptif à priorités fixes
- ordonnancement sans priorités : round-robin
- synchronisation (sémaphores, événements, messages)
- gestion des ressources partagées: Priority Inheritance Protocol (PIP), Priority Ceiling Protocol (PCP)
- gestion des interruptions (conforme POSIX), support interruptions imbriquées
- communication (files de messages - BALs, mémoire partagée)
- gestion MMU, allocation dynamique



µC/OS II



- Distribué par **Micrium**
- **Caractéristiques :**
 - noyau temps-réel multi-tâches pour multiprocesseurs et microcontrôleurs
 - certifié DO-178B
 - cibles supportées : x86, ARM, StrongARM, M68x, ColdFire, PowerPC, MicroBlaze, TMS320-Cxxxxx, ...
- **Services :**
 - ordonnancement à priorités : préemptif à priorités fixes
 - ordonnancement sans priorités : non supporté
 - synchronisation (sémaphores, mutex, événements)
 - gestion des ressources partagées: Priority Inheritance Protocol (PIP)
 - communication (files de messages – BALs)

OSE



- Distribué par **OSE Systems** (filiale d'ENEA)

- **Caractéristiques :**

- noyau temps-réel multi-tâches
- cibles supportées : Motorola/IBM PowerPC, Motorola 68K/CPU32, MIPS, Texas Instruments TMS320Cxxx, Intel StrongArm et ARM, ...

- **Services :**

- ordonnancement à priorités (32 niveaux) : préemptif et cyclique
- ordonnancement sans priorités : round-robin
- synchronisation (sémaphores, signaux avec buffers)
- gestion des ressources partagées : aucun protocole
- gestion des interruptions (non-POSIX), support interruptions imbriquées
- communication (signaux avec buffers, mémoire partagée)
- gestion MMU par segments, allocation dynamique par blocs

OSEK-VDX

- **RTOS conformes au standard OSEK/VDX :**

3SOFT

osCAN (Vector Informatik)

ProOSEK (3Soft)

vector 

Nucleus OSEK (Accelerated Technology)


Accelerated Technology®
Embedded Systems Division of
Mentor Graphics

 **euros**®

RTA-OSEK (LiveDevices)

OSEKturbo (Metrowerks)

 LiveDevices

Eurosmot (Euros)

OX-OSEK (Trialog)

OSEKWorks (Wind River)



WIND RIVER


metrowerks®
A Motorola Company

Windows Embedded Compact

- Distribué par **Microsoft**, anciennement Windows CE



- **Caractéristiques :**

- **Variante du système d'exploitation**
Windows pour les systèmes embarqués
- **cibles supportées** : ARM, PowerPC, SH, x86
- conforme à la *définition* d'un OS temps-réel
(temps de latence aux interruptions déterministe)



Nucleus RTOS



- Distribué par **Mentor Graphics**

- **Caractéristiques :**

- ➔ **Système d'exploitation temps-réel**

- ➔ **Cibles supportées** : 68k, x86, ARM, ColdFire, DSP, SH, MIPS, PowerPC, SPARC, MicroBlaze, Xscale, ...

- ➔ **Gratuit et livré avec les sources**

- **Le noyau inclut :**

- ➔ **une couche TCP/IP**
 - ➔ **une interface graphique**
 - ➔ **un navigateur Web**
 - ➔ **un serveur HTTP**



Nucleus RTOS

eCOS



- **eCOS : embedded Configurable Operating System**
- **Système d'exploitation temps-réel conçu pour les applications embarquées**
- **cibles supportées** : ARM, CalmRISC, FR-V, H8, IA32, M68K, Matsushita AM3x, MIPS, NEC V8xx, PowerPC, SPARC, SuperH
- Gratuit
- Depuis mai 2002 : distribué sous la **eCos Licence** (GPL-compatible Free Software License)

*As a special exception, if other files instantiate templates or use macros or inline functions from this file, or you compile this file and link it with other works to produce a work based on this file, **this file does not by itself cause the resulting work to be covered by the GNU General Public License**. However the source code for this file must still be made available in accordance with section (3) of the GNU General Public License. This exception does not invalidate any other reasons why a work based on this file might be covered by the GNU General Public License*

Les solutions temps-réel basées sur Linux

- Les solutions Linux temps-réel commerciales

Wind River Linux
BlueCat RT
LynxOS

HardHat
RedHawk



- Les solutions Linux temps-réel libres

RTAI
Xenomai
RTLinuxFree

KaeilOS
LITMUS^{RT}





OS libres vs. OS propriétaires ?

Le concept de logiciel libre (1)



- **Origine du concept :**

- Jusqu'aux années 70, il n'est pas clair que le **droit d'auteur** s'applique aux logiciels

- **Accès restreint au code source** à partir du début des années 80

- Le concept du Logiciel Libre (LL) est **né il y a une vingtaine d'années** dans les centres de recherche académiques

- **Richard Stallman** considère que le droit d'auteur est « *nuisible pour la société* »





Le concept de logiciel libre (2)

- **Définition du concept :**

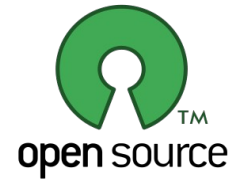
→ L'expression « logiciel libre » fait référence à 4 types de libertés :

- 1) **la liberté d'exécuter le programme**, sans restriction de temps, de lieu, de motif et de personne,
- 2) **la liberté d'étudier le fonctionnement du programme** et de l'adapter à ses besoins,
- 3) **la liberté de redistribuer des copies**,
- 4) **la liberté d'améliorer le programme** et de diffuser les améliorations.

Les différentes associations (1)

- **La FSF (Free Software Foundation) :** The logo of the Free Software Foundation (FSF) is displayed. It features a stylized red 'FSF' monogram on the left, followed by the words 'FREE SOFTWARE' in red uppercase letters, and 'FOUNDATION' in smaller red uppercase letters below it.
- **Association sans but lucratif** fondée aux Etats-Unis en 1985 pour promouvoir le développement et l'usage du logiciel libre.
- **La FSF a développé 2 licences de LL :**
 - la licence GPL,
 - la licence LGPL.
- **<http://www.fsf.org>**

Les différentes associations (2)



- **L'OSI (Open Source Initiative) :**

- **Association sans but lucratif** créée en 1998, qui se consacre à **préciser la définition du logiciel libre** (qu'elle désigne sous le nom d'*open source*), et à **promouvoir le développement des LL conformes à sa définition.**

- Elle évalue les licences, détermine leur caractère libre et leur **accorde ou non un label de certification (*OSI Certified*)**.

- **Licences ayant obtenu ce label** : GPL, LGPL, BSD, MIT, Artistic, MPL, QPL, IBM PL, Ricoh SCPL, Python, zlib/libpng, Apache, Vovida, SISSL, Intel OSL, Jabber OSL, Nokia OSL, Sleepycat, Nethack GPL, Common Public Licence, Apple PSL...



Les différentes communautés (1)

- **La communauté académique**

- **Point de vue de la communauté académique :**

- le programme est écrit pour prouver une théorie ou démontrer une faisabilité

- **Difficultés rencontrées :**

- la diffusion du programme au sein même de l'équipe de chercheurs,

- la maintenance des programmes (*objets de recherche*) et des logiciels (*objets de transfert*).



Les différentes communautés (2)

- La communauté industrielle

- Point de vue de la communauté industrielle :

- les industriels doivent tirer un *avantage compétitif* de leur engagement dans le développement d'un logiciel libre.

- Apports du LL pour l'entreprise :

- raccourcissement du délai de transfert du logiciel du monde de la recherche vers celui de l'industrie (= *transfert rapide d'innovations*),

- le fait d'investir en « amont » sur certains logiciels, peut permettre de diminuer les coûts en « aval ».



Les différentes communautés (3)

- **La communauté des développeurs**

- La motivation première d'un développeur bénévole est que le logiciel **réponde à ses besoins.**

- **Les bénéfices de contribution :**

- **le développeur prend plaisir** aux tâches de développement ainsi qu'à la compréhension des codes sources,

- le fait de publier des sources (de haute qualité) lui permet de **se faire reconnaître par ses pairs.**



Les différentes communautés (4)

- **La communauté des utilisateurs**

- ➔ **Les bénéfices d'utilisation d'un LL :**

- ➔ **le logiciel est gratuit** (sauf offres intégrées),
 - ➔ **le logiciel est adaptable** aux besoins d'utilisation,
 - ➔ **le logiciel possède une qualité intrinsèque (?)** de part son statut de LL,
 - ➔ **le modèle d'assistance est rapide (?) et gratuit.**

Le modèle d'assistance (1)

- **Sites web collaboratif sur le logiciel libre :**

- ➔ Framasoft : « La route est longue mais la voie est libre »



- **Les « FAQs » :**

- ➔ **Pages Web** qui recensent **les questions** les plus fréquemment posées ainsi que **leurs réponses**.

- ➔ Pages gérées par une personne ou par un groupe de contributeurs identifiés.

- ➔ Fréquence de mise à jour des pages variable



Le modèle d'assistance (2)

- Les «**Tips&Tricks** » :

- Ils reposent sur le **même principe** que les « **FAQs** »,
- Ils listent, en plus, des **conseils** relatifs à l'**installation** et à l'**utilisation** du logiciel.

- Les «**Newsgroups** » :

- Ce sont des **forums sur le Web**,
- Ils constituent une **version dynamiques** de « **FAQs** ».
- Avant d'envoyer son message, il convient de vérifier dans les « **FAQs** », que le problème n'a pas été traité auparavant.

Quelques exemples de succès de LL

- Linux
- Mozilla Firefox
- OpenOffice
- VLC
- GIMP
- Apache
- MySQL, PostgreSQL



Firefox
the browser, reloaded.





En bref : Propriété, commerce et liberté

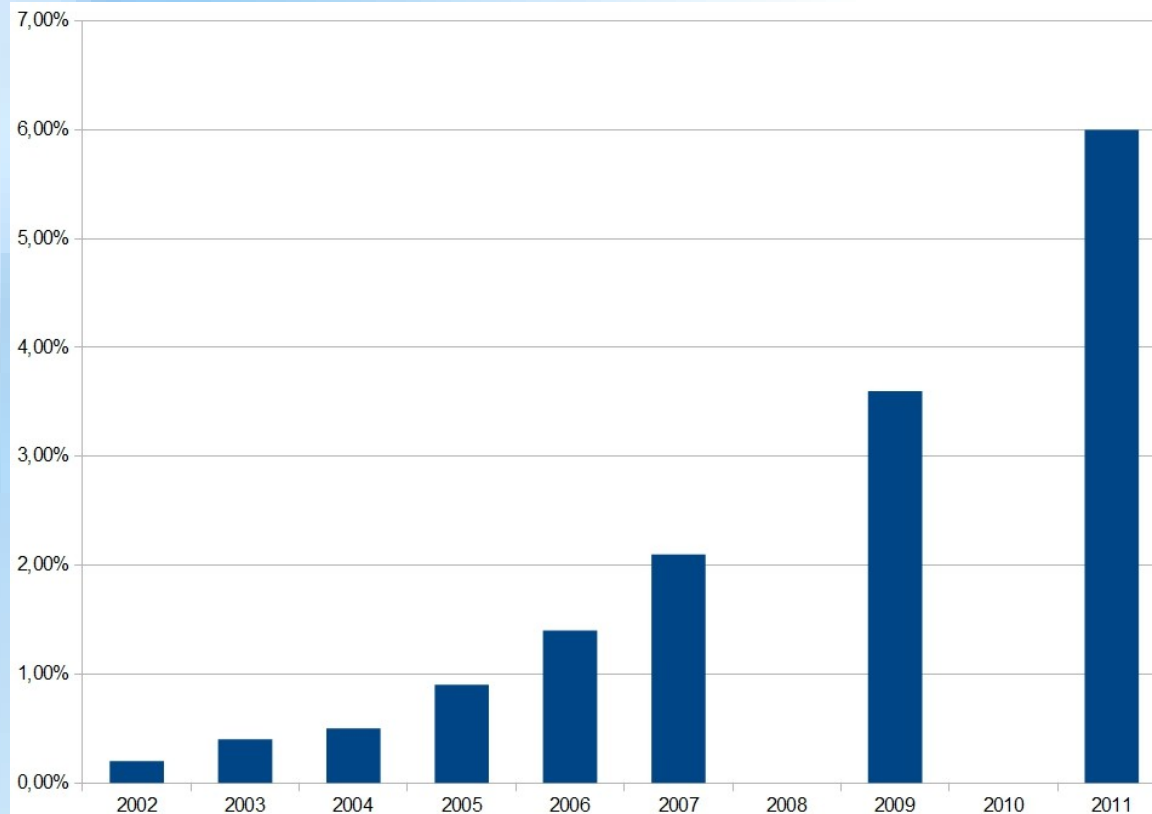
- Un programme **propriétaire** ne donne pas accès à son code source
- **Conditions pour qu'un programme soit libre :**
 - 1) Avoir accès au code source du programme
 - 2) Pouvoir modifier et adapter le programme à ses besoins
 - 3) Pouvoir redistribuer des copies du programme
 - 4) Pouvoir publier le code source modifié
 - **Libre** mais pas obligatoirement **gratuit**
 - **Gratuit** mais pas forcément **libre**
 - **Commercial** mais pas forcément **propriétaire**
- Les licences **GPL, LGPL**





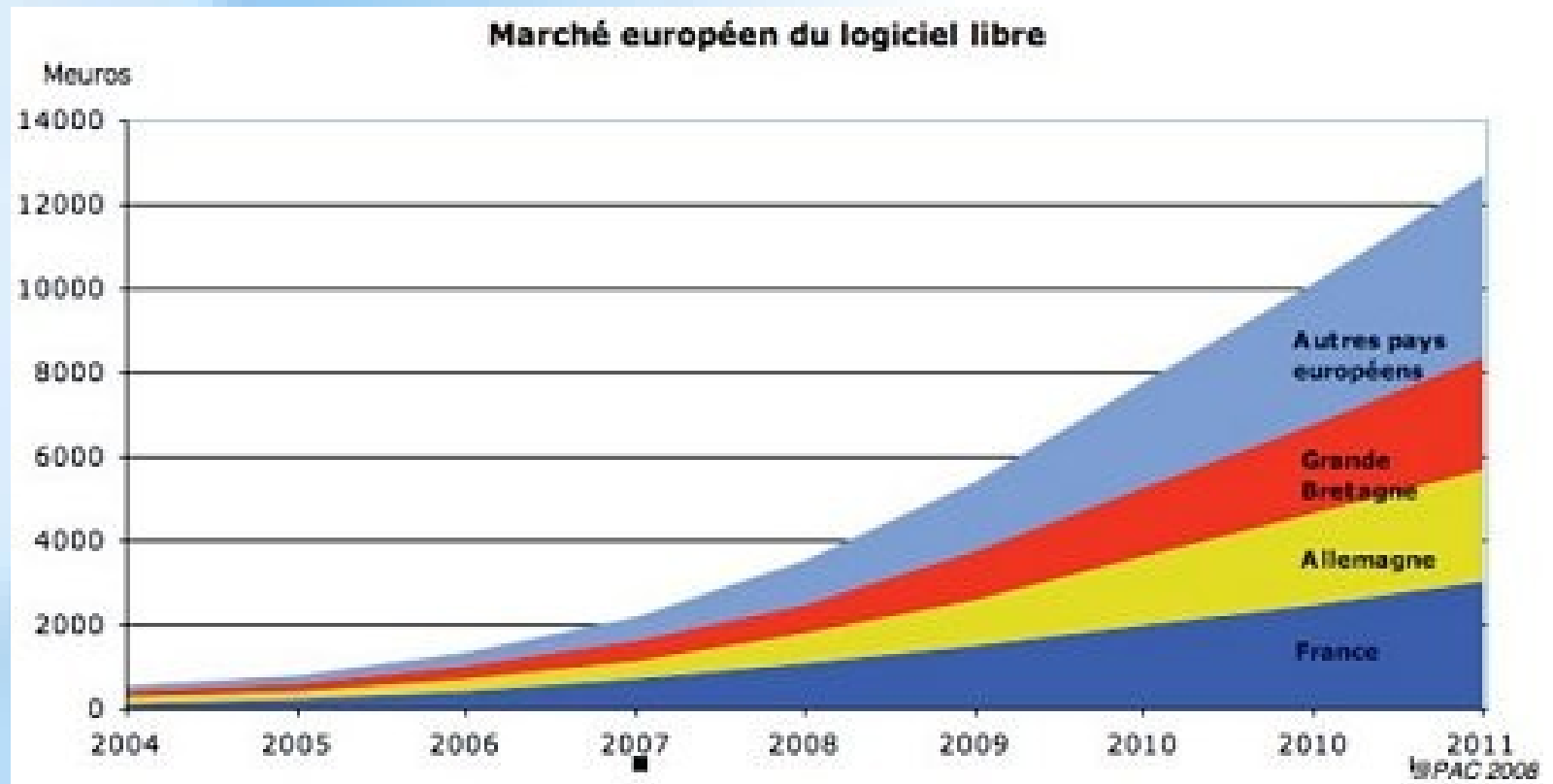
Quelques chiffres (1)

- Le **marché du logiciel libre** représente environ 6% du marché des logiciels et des services informatiques en France en 2011.

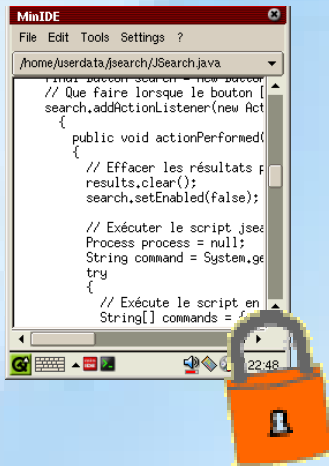


Source : Wikipédia, 2012

Quelques chiffres (2)



Les solutions Linux temps-réel commerciales

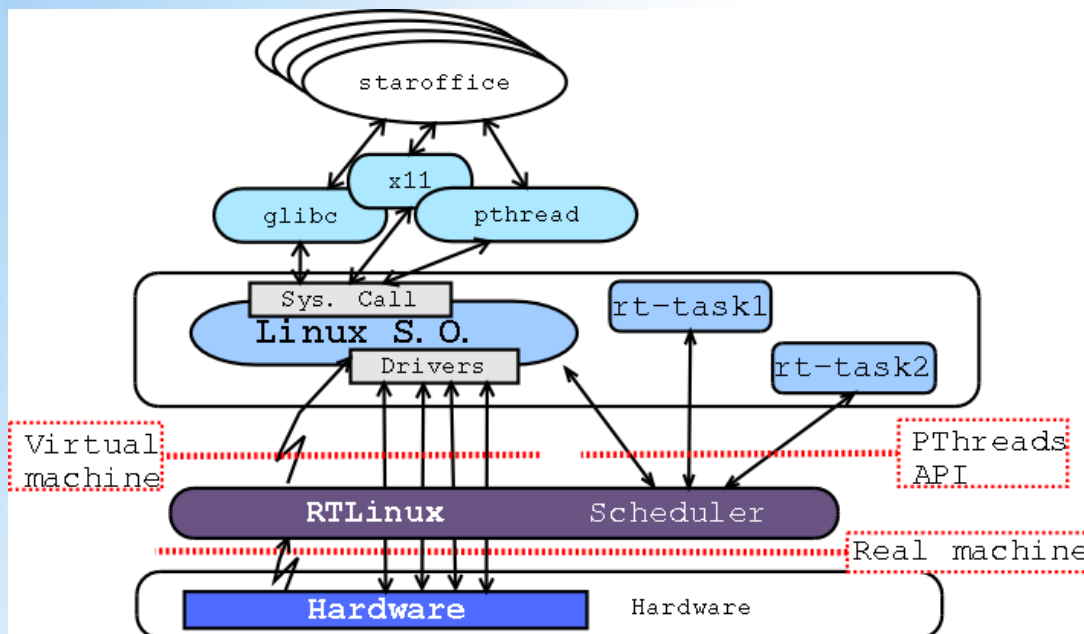


- Wind River Linux
- BlueCat RT
- LynxOS
- HardHat
- RedHawk



Wind River Linux (1) **WIND RIVER**

- Anciennement RTLinuxPro distribué par **FSMLabs**
- **Extension temps-réel dur** du noyau Linux sous forme de patch
- Wind River Linux considère **Linux comme une tâche de fond** s'exécutant lorsque aucune activité temps-réel n'est présente.



Wind River Linux (2) **WIND RIVER**

- **Caractéristiques :**

- **Temps-réel dur** avec un déterminisme de l'ordre de la microseconde
- Wind River Real-Time core supporte les noyaux Linux **2.4** et **2.6**
- **cibles supportées** : famille x86, Motorola/IBM PowerPC, Xscale, MIPS, Alpha, Intel StrongArm et ARM

- **Services :**

- Pas de protection mémoire ni d'allocation dynamique dans le noyau
- **Synchronisation et communication** : sémaphores, mutex, contrôle de l'inversion de priorité, mémoire partagée, FIFOs
- Résolution d'horloge : la nanoseconde
- Son code source est sous **licence propriétaire**

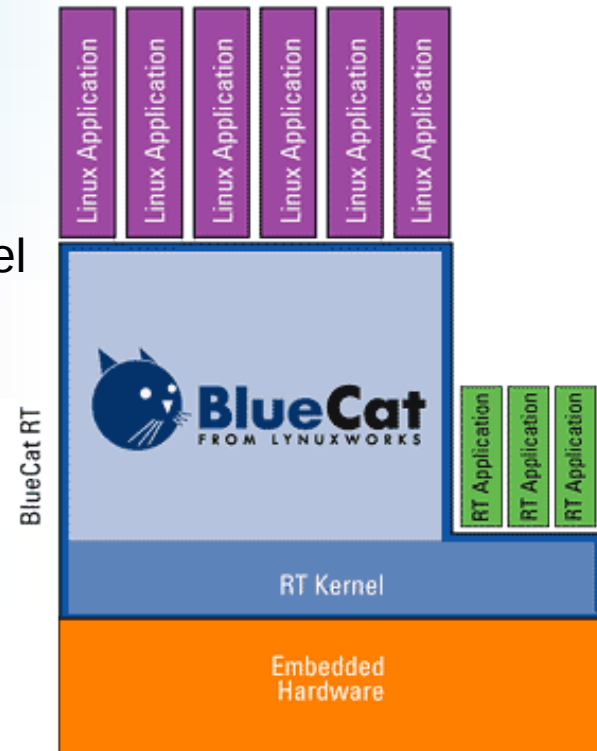
BlueCat RT



- Distribué par **LynuxWorks**

- **Caractéristiques :**

- **solution hybride** entre le noyau temps-réel RTLinuxPro et le noyau embarqué BlueCat
- Système **temps-réel dur** stable et flexible
- API conforme au standard **POSIX**
- Son code source est sous **licence propriétaire**



LynxOS



- Distribué par **LynuxWorks**

- **Caractéristiques :**

- **système d'exploitation temps-réel propriétaire** type UNIX

- **réponses temps-réel dur déterministes**

- conforme à la norme POSIX 1003.1



- **cibles supportées** : Motorola 68K, famille x86, ARM, PowerPC, ...

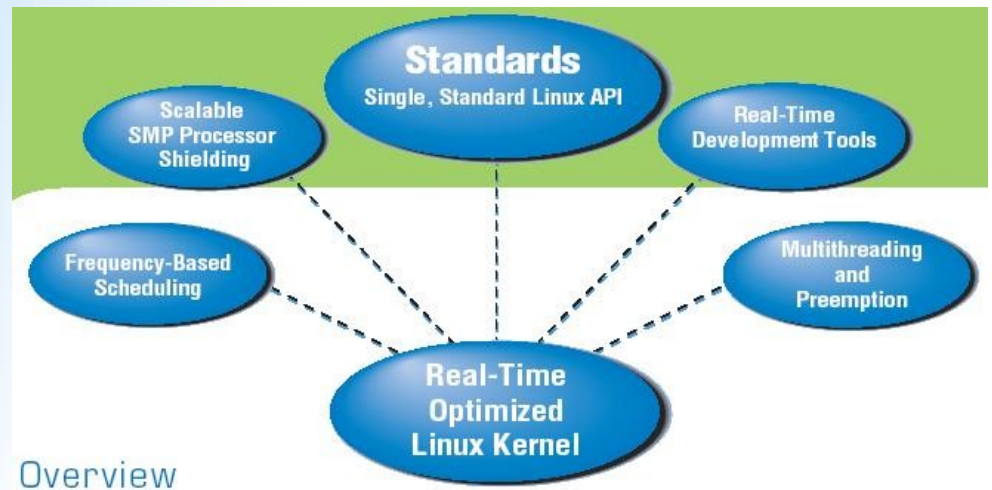
- 2003 : sortie de **LynxOS-178** certifié DO-178B pour les applications avioniques

- Son code source est sous **licence propriétaire**

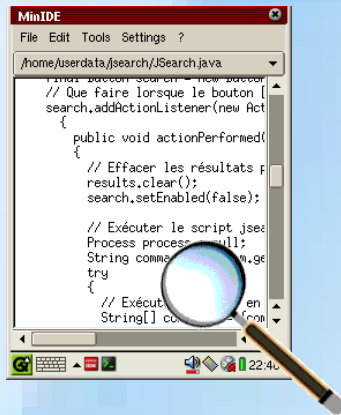
RedHawk



- Distribué par **Concurrent Computer Corporation**
- RTOS pour les **systems multiprocesseurs** à base de x86, AMD, Intel
- 100% compatible avec la distribution Red Hat Enterprise Linux
- **conforme aux standards industriels** (Linux Standard Base, POSIX 1003.1, POSIX 1003.1b)
- panel d'outils de développement (**NightStar GUI**) : NightView, NightTrace, NighthSim, NightProbe
- Son code source est sous **licence propriétaire**



Les solutions Linux temps-réel libres



- RTAI
- Xenomai
- RTLinuxFree
- KaeilOS
- LITMUS^{RT}





POLITECNICO
DI MILANO

RTAI

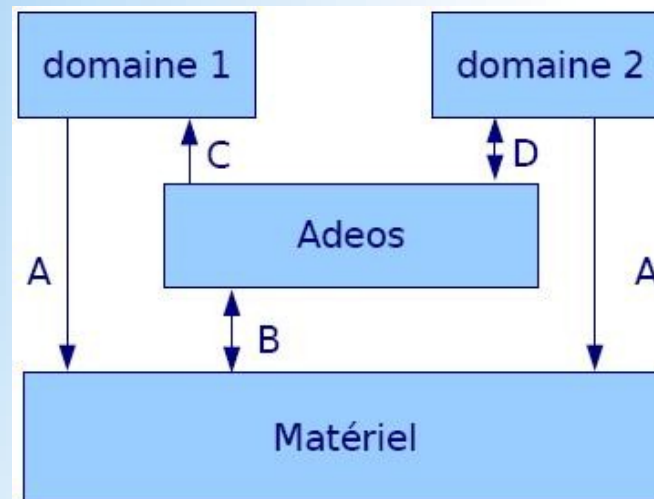


- RTAI est intégré à Linux grâce à un **patch noyau** et une **série de programmes additionnels** (modules chargeables dynamiquement) qui étendent le noyau Linux au **temps-réel dur**
- **Projet** initié et maintenu par le Département de l'Ingénierie Aérospatiale de l'Ecole Polytechnique de Milan (DIAPM)
- **Cibles supportées** : x86, x86-64, PowerPC, ARM
- Son code source est sous **licence LGPL**

Xenomai (1)



- En 2003, projet intégré aux développements de RTAI (basé sur ADEOS)
- **Depuis 2005, projet indépendant** visant à permettre l'utilisation de plusieurs OS sur une même machine



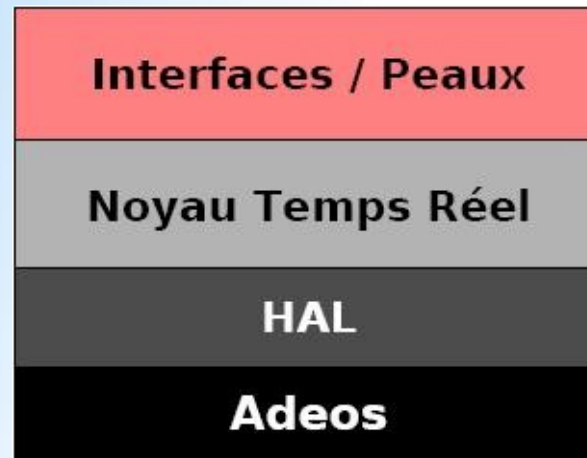
- Son code source est sous **licence LGPL**

Xenomai (2)



- Xenomai propose **plusieurs interfaces de programmation** (skins) :

- native
- POSIX
- RTDM
- VxWorks
- VRTX
- RTAI
- pSOS+
- μ Clinux





RTLinuxFree

WIND RIVER

- **Extension temps-réel dur** du noyau Linux (**patch** pour les noyaux Linux standards)
- **Développement stoppé** par FSMLabs depuis 2001 (support pour noyau 2.4)
- Acquisition de FSMLabs par Wind River en février 2007 (support pour noyau 2.6)
- **Cibles supportées** : x86, Legacy ARM, SH
- Son code source est régi par 2 licences :
 - la **licence GPL vers. 2**
 - la **RTLinux Open Patent License** (droit d'utilisation du brevet américain n°5995745 dans des logiciels libres couverts par la GPL)

KaeilOS



- Distribué par **Koan Software Engineering**
- Basé sur le noyau Linux **2.6**
- **cibles supportées** : x86, ARM
- KaeilOS offre du temps-réel dur en intégrant au choix :
 - un **support RTAI**
 - un **support Xenomai**
- Code source sous **licence GPL**
- **Royalty-free**





LITMUS^{RT}

LITMUS^{RT}

Linux Testbed for Multiprocessor Scheduling in Real-Time Systems

- Développé à l'Université de Caroline du Nord (Chapel Hill)
- Extension **temps réel souple** du noyau Linux
- Basé sur le noyau Linux 2.6.24
- Focus sur l'ordonnancement temps réel et la synchronisation des plateformes **multiprocesseurs**
- Son code source est sous **licence GPL**