

Informatique Embarquée M2 / 2014

OS / μ-Noyaux / OS TR

Référence!

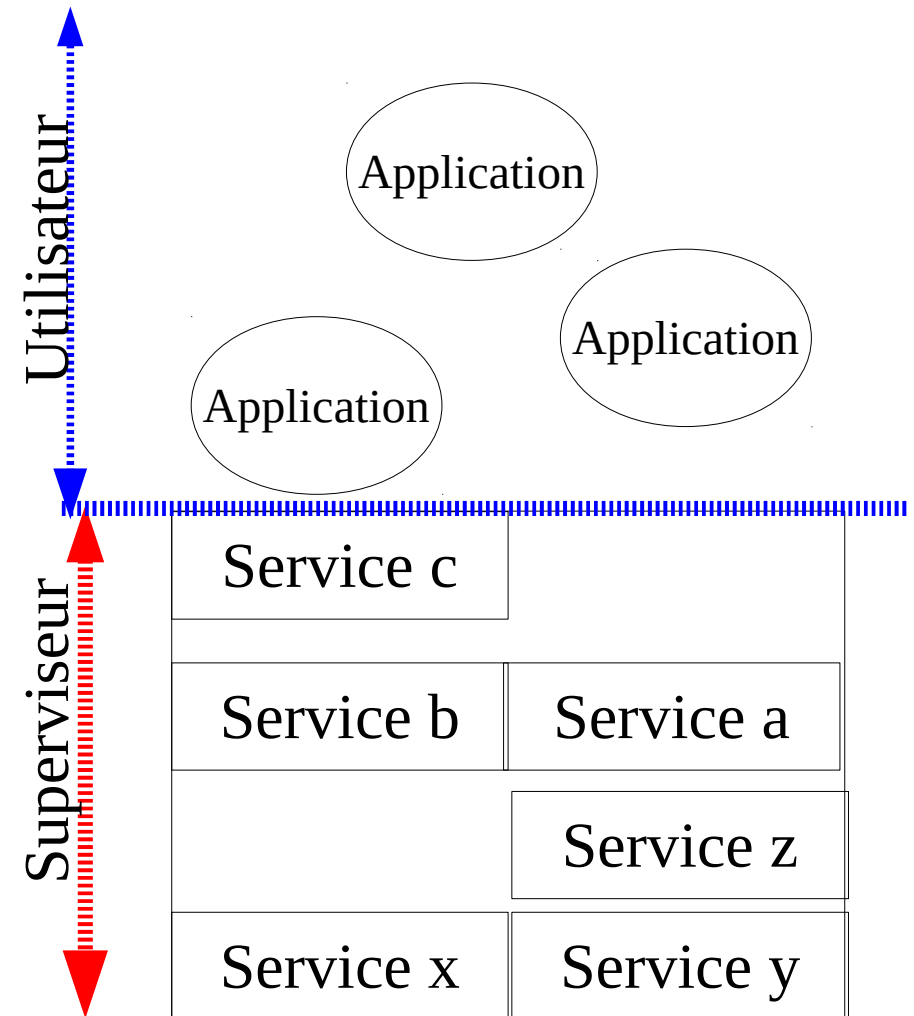
- "oir # \$ro%rammin% &n' er ()oru!#* +ean-Marie Riff,et
)tt-.// // /0--!01u!!ieu0fr/2riff,et/\$&34I(5TIONS/boo640)tm,
- Mer i au!!i 7 l8an 3ou,e
- 44 / Ni ta.
)tt-.// // /0 !e0un! /0e' u0au/2 !9242/10/,e ture!/01-intro0-' f

: on tion! ' ;un OS

- <ue! tion N=1.
 - 4i!ter ,e! -rin i-a,e! fon tion! ' ;un !y!t>me
' ;ex-,oitation ' e ty-e &nix ?4inux* 3S@*
So,ari!A* Bin' o/! ou Ma OS
 - @ifféren ier e qui re,>8e ' u noyau ,ui-mCme
' e e qui e!t fourni -ar ,e! uti,itaire!
- <ue! tion N=2.
 - Serait-i, -o!!ib,e ' ;ar)ite turer ' e mani>re
' ifférente! e! mCme! !er8i e!D

Structure d'un OS mono(ité)ique

- 4;en!emb,e ' e!
!er8i e! offert! -ar ,e
noyau !ont inté%ré!
' an! une mCme unité
' ;exé ution en mo' e
-ri8i,é%ié
- Seu,e! ,e! a-- ,i ation!
!ont i!o,ée! ,e! une!
' e! autre!



Mi ro-noyaux. Motivation!

- 4e! noyaux tra' itionne,! ' it! #mono,it)ique!#
exé utent ,;en!emb,e ' e ,eur o' e en mo' e
!u-er8i!eur.
 - Ten' an e 7 -eu / ma, ' éfinir ,e! interfa e! entre ,e!
om-o!ant!*
 - 4a ' éfai,,an e ' ;un om-o!ant entraîne ,a ' éfai,,an e
' u !y!t>me om-,et*
 - Tout ,e o' e ' oit Ctre on!i' éré / 8a,i' é omme !Fr*
- \$a! ' e né e!!ité ab!o,ue.
 - Gain en -erforman e*
 - #: a i,ité# ' ;é8o,ution

Mi ro-noyaux. Motivation!

- @éfinir une ar)ite ture ' ifférente.
 - N;exé uter en mo' e !u-er8i!eur que e qui e!t !tri tement né e!!aire
 - ▶ <ue!tion. qu;e!t-i, rée,,ement #né e!!aire# ' ;exé uter en mo' e !u-er8i!eurD
 - Exé uter ,e! !er8i e! u!ue,! ' ;un OS ' an! ' e! #!er8eur!# i!o,é! ,e! un! ' e! autre! en mo' e a-- ,i atif0
 - @;oH ,a né e!!ité ' e ' éfinir un mé ani!me ' e ommuni ation -our in8oquer e! !er8eur!. I\$(0
 - "ariante. a8e un I\$(#ré!eau# on -eut a,or! on!truire un !y!t>me ' i!tribué!

7 ba!e ' e Mi

artie

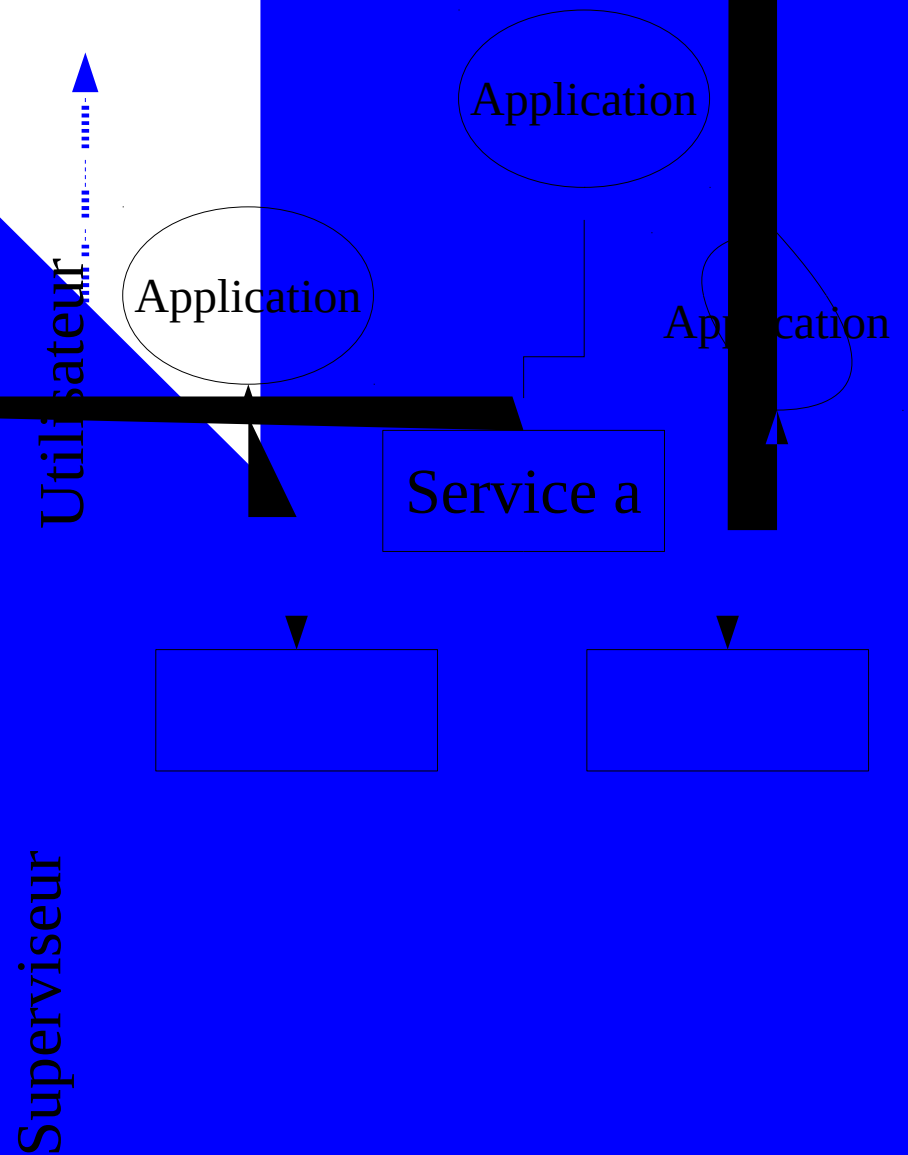
-e

?mo

!;exé uta

uti,i!ateur0

6st,erti uier



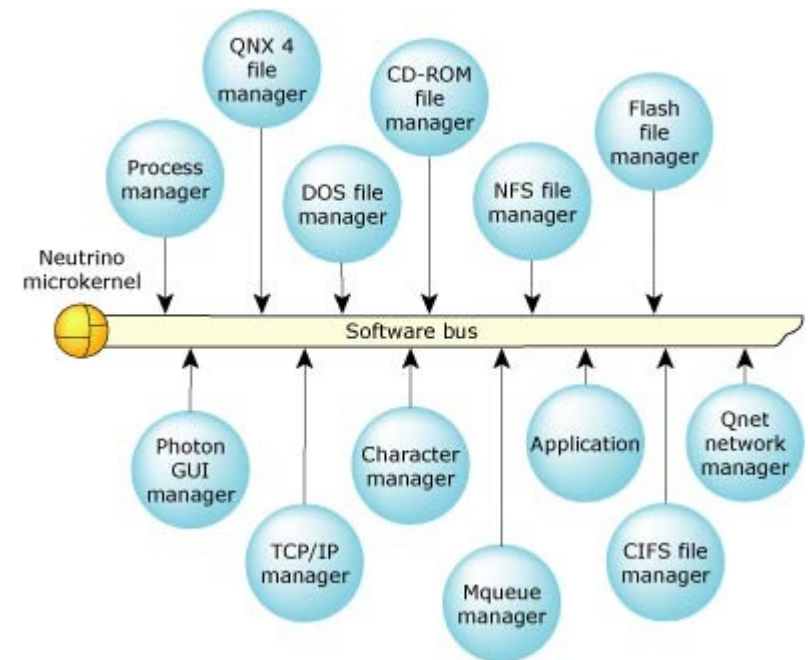
OS Embarqué! * Tem-!-rée,

- Le 4e noyau fournit un environnement de travail rétrocompatible avec les applications Linux
- Seront utilisés aux côtés des applications Linux existantes

☰

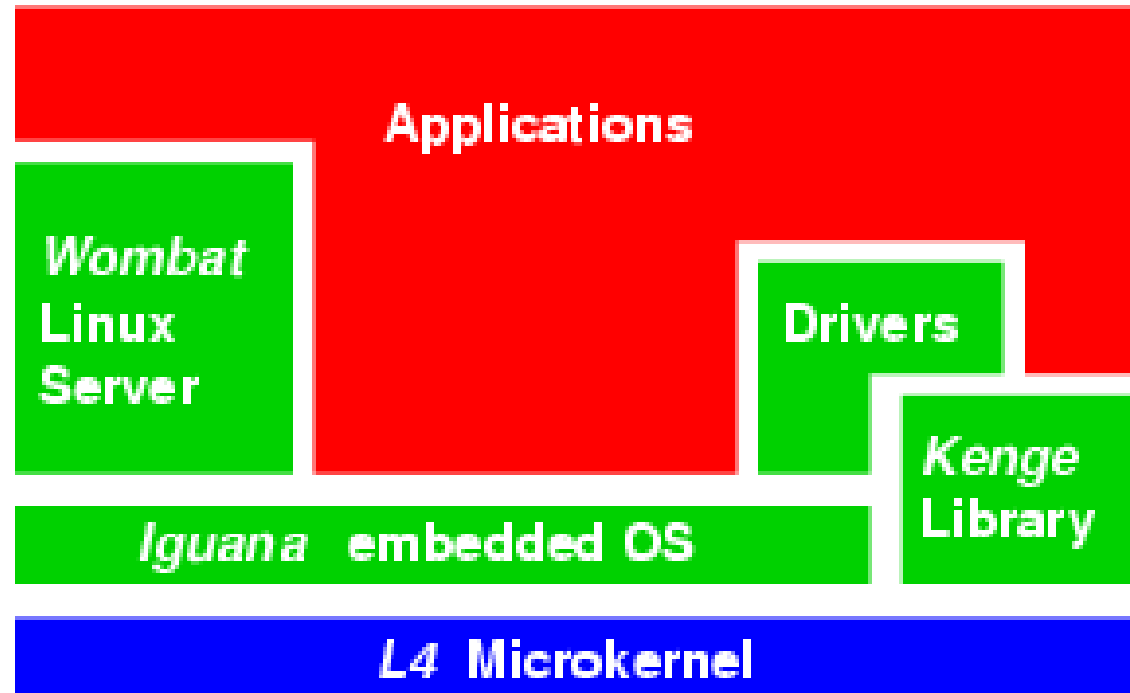
μ-Noyaux. <NJ

- <NJ.
 - Real-time* \$o!ix
 - (ommer ia,* O-en !our e
- (o,,e tion ' e !er8eur!
- Tr>! uti,i!é en #té,ématique#
?automobi,eA
- 5r). xKL* Mi\$S* \$\$(* 5RM*
SM-4000



μ-Noyaux. 44

- \$rolet **S** O-en Sour e
- ON4ab! ? ommer ia,A
- Nombreu!e! 8ariante!
- \$a! ' ;I\$(' i!tribué
- -eu/-a! ' e !u--ort
tem-!-rée, ?!ui8ant ,e!
8er!ion!A
- Su--orte ' e! a' a-tation!
' u noyau 4linux en mo' e
uti,i!ateur



- "er!ion! ON4ab!
- &ti,i!é! Té,é-)onie
- O Mi ro8i!eur

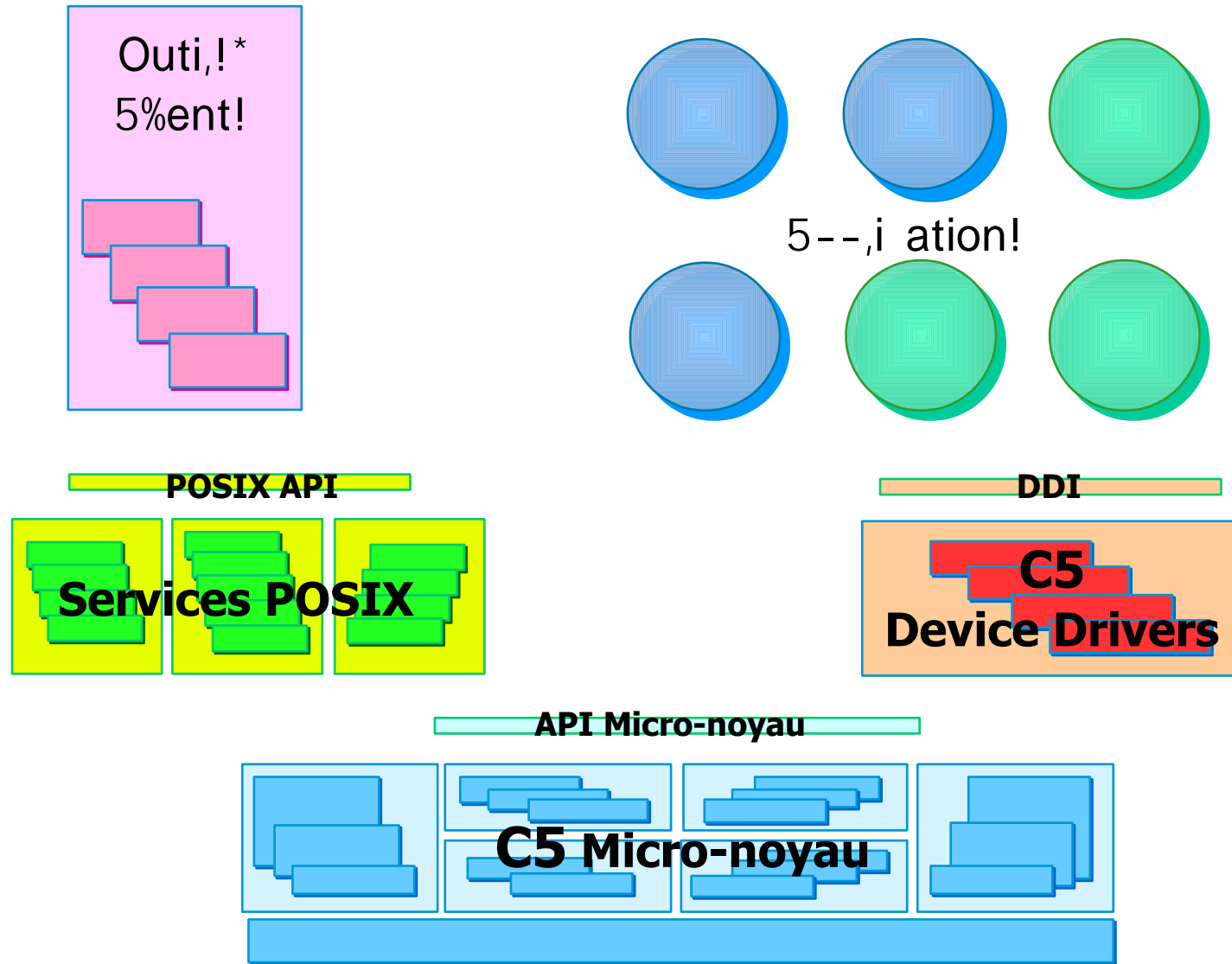
μ-Noyaux. autre!

- Ma). ?' an! M5(OS JA
 - \$a! 8raiment uti,i!é !ou! forme ' e μ-noyau
 - Ni ' e!tiné 7 ,;embarqué ni au Tem-!-rée,0
 - P' ition ' e ,ien! a8e un -orta%e ' e #: ree3S@#
 - I\$(ty-é a!!e0 #,our' # re!treint au !ite ,o a,
- I3M N42* Mi ro!oft Sin%u,arity
- ()oru! / (R
 - (ommer ia, / O-en Sour e0 Mi!toriquement uti,i!é
' an! . embarqué / tem-!-rée, / té,e om

OS Temps-réel, ?non 4linuxA

- Il y en a - ,ét)ore. donneriaux* o-en-!our e* fait! mai!on000
- (onneriaux
 - Bin' Ri8er "xBor6!*
 - Nu ,eu!* -So!*
 - "RTJ* T)rea' J*
 - Bin' o/! (E*
 - Symbian* RMJ*
 - OSE* OS-9* ITron*
 - 5r' en e RTJ0000
- O-en Sour e
 - e(OS
 - : reeRTOS*
 - RTEMS*

()oru! / (R - 5r)ite ture



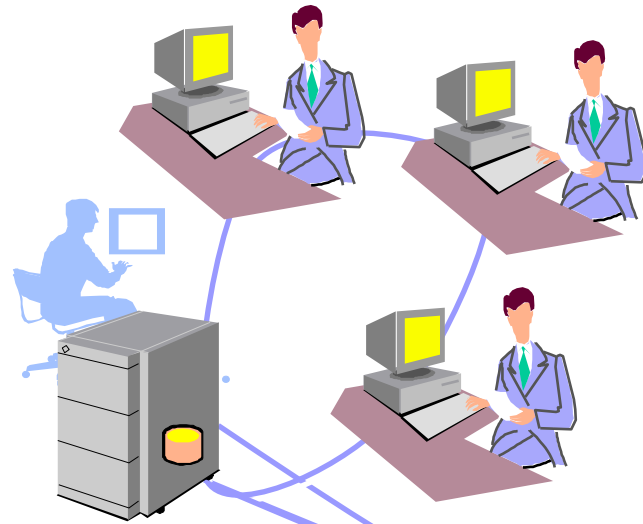
()oru!OS / (R Sy!t>me Tem-!-Rée,

- (R mi ro-noyau tem-! rée, ?R>me %énération ()oru!A
 - "erroui,,a%e %rain fin ?*fine-%rain ,o 6in%*A
 - \$roto o,e! I\$(?*exa t,y-on e R\$(A*
 - Ge!tion?!A mémoire f,exib,e
 - @e8i e @ri8er! :rame/or6
- Sou!-!y!t>me \$OSIJ ?' éri8é ' e :ree3S@A
- (omman' e! ' ;a' mini!tration embarquée!
autonome!
- En8ironnement MSte/ (ib,e ?*Mo!t/Tar%etA*

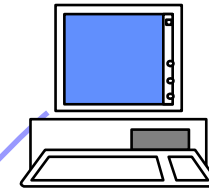
é8e,o--ement roi!é



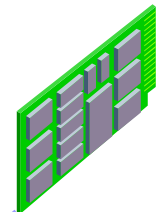
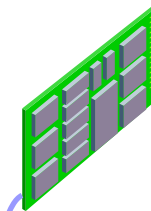
Environnement de développement



Cibles Embarquées



- Téléchargement automatique
- Déploiement embarqué

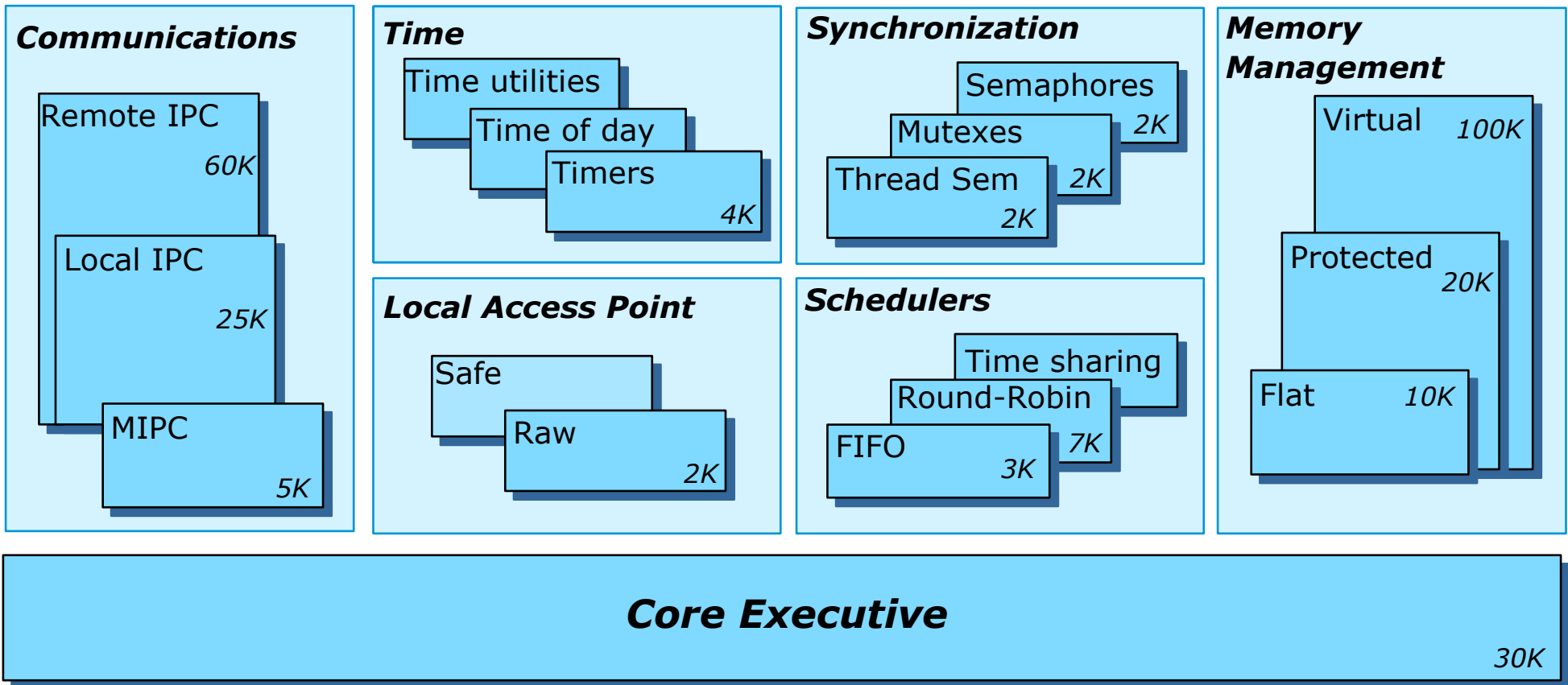


Linux / Solaris

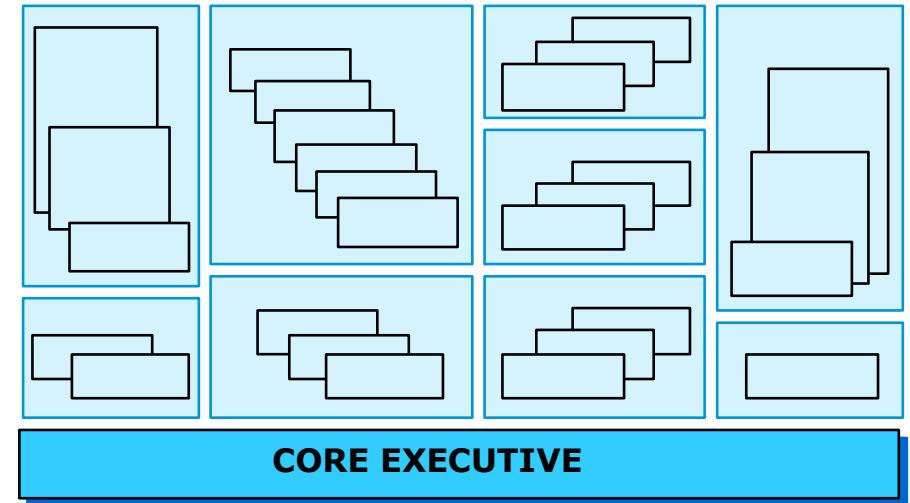
- Configuration
- Gestion des ressources
- Gestion des symboles
- Installation de mini-système
- Mise à jour du système

- 4ien!
- 4ième série
- Ethernet
- T5G

Ser8i e! ' u μ Noyau (R



Core Executive



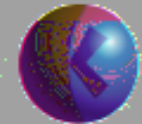
- Ser8i e! ' e ba!e
 - Tlla teur!UV
 - t)rea' !
 - Ser8i e ' e !yn)roni!ation é,élementaire
- Su--ort ' e! mo' u,e! μ Noyau
 - initia,i!ation
 - -er t)rea' /a tor ' ata
- @émarrage ' e! a teur! ' e boot

ON44

- 4e! information! qui !ui8ent !ont extraite! ' e
)tt-.// // /0 !e0un! /0e' u0au/2 !9242/10/,e ture!/01-intro0-' f
 - (ourte!y Gernot Mei!er* NI(T5
- 4e! -a%e! !ui8ante! n;ont -our but que ' e
-ré!enter un ra-i' e !ur8o, ' e ON44* et n;ont en
au un a! ,a -rétention ' ;Ctre un intro' u tion
om-,>te 7 e !y!t>me0

Copyright Notice

UNSW



OK
L

Work is licensed under the Creative Commons Attribution License

CC BY

1053

#500

→ You

- to copy, distribute and transmit the work
- to adapt the work

-
-

→ Unc

following conditions:

n. You must attribute the work (but not in any way that suggests author endorses you or your use of the work) as follows:

-

esy of Gernot Heiser, [Institution]", where [Institution] is one of

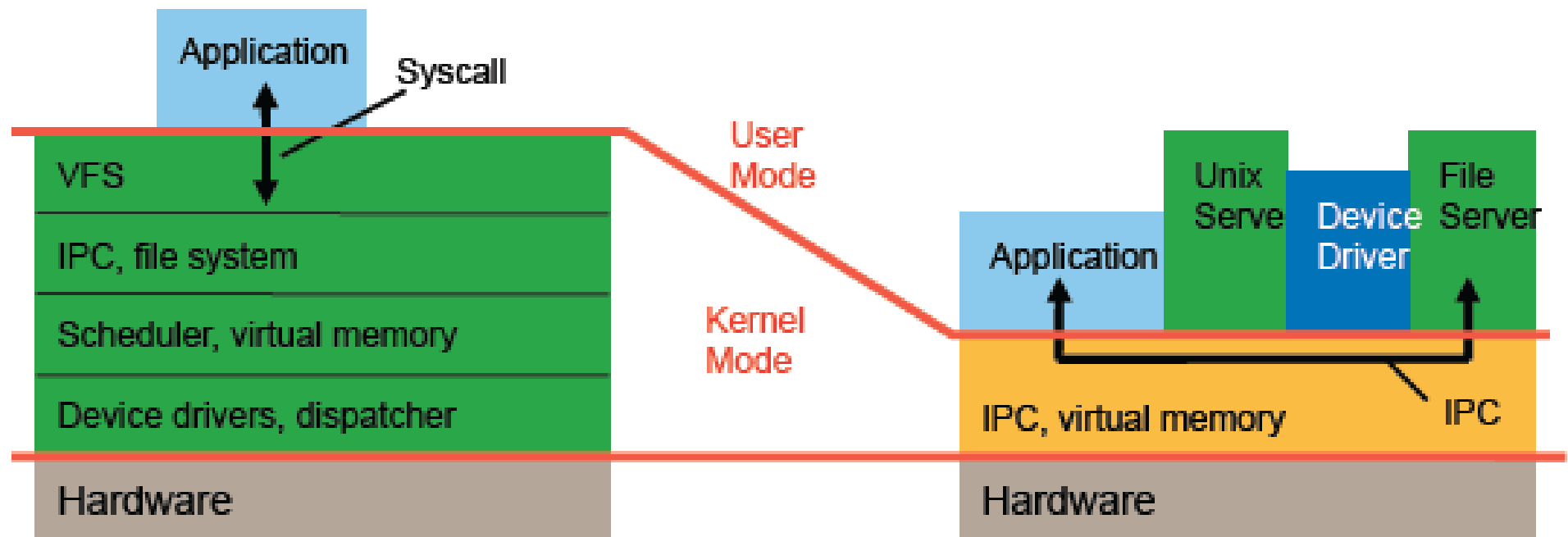
V" or "NICTA"

e license text can be found at <http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/legalcode>

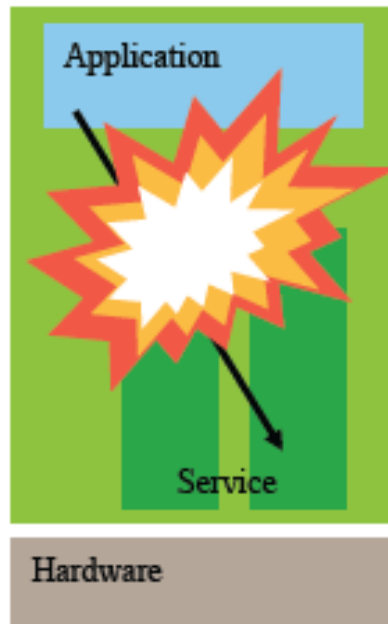
→ The

crea

ON44. 5--ro)e μ -Noyau

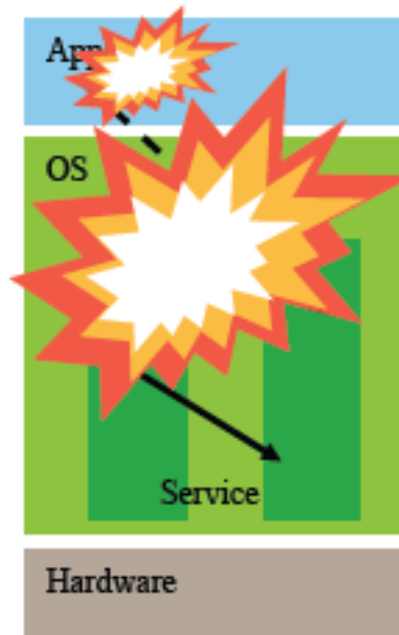


T(3. Tru!te' (om-utin% 3a!e



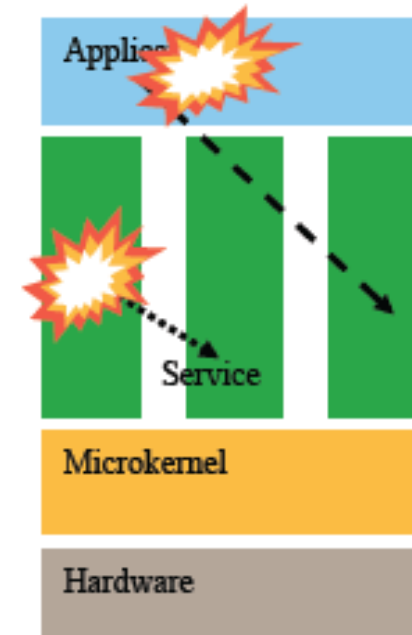
System: traditional
embedded

TCB: all code



Linux/
Windows

1,000,000's LOC



Microkernel-
based

10,000's LOC

ON44. \$rin i-e! ' e ba!e

- 5b!tra tion!.
 - E! -a e! ' ;a' re!!a%e ?MM& 8irtue,,eA
 - T)rea' ! ?(\$& 8irtue,!A
 - (a-a ité! -(a-abi,ity- ?nomma%e et -rote tionA
 - Tem-!
- Mé ani!me!
 - I\$(. ommuni ation -ar me!!a%e!
 - Ma--a%e mémoire 8er! e! -a e! ' ;a' re!!a%e!
- (on e-t! autre!.
 - Ex e-tion!

ON44. E! -a e ' ;a' re!!a%e

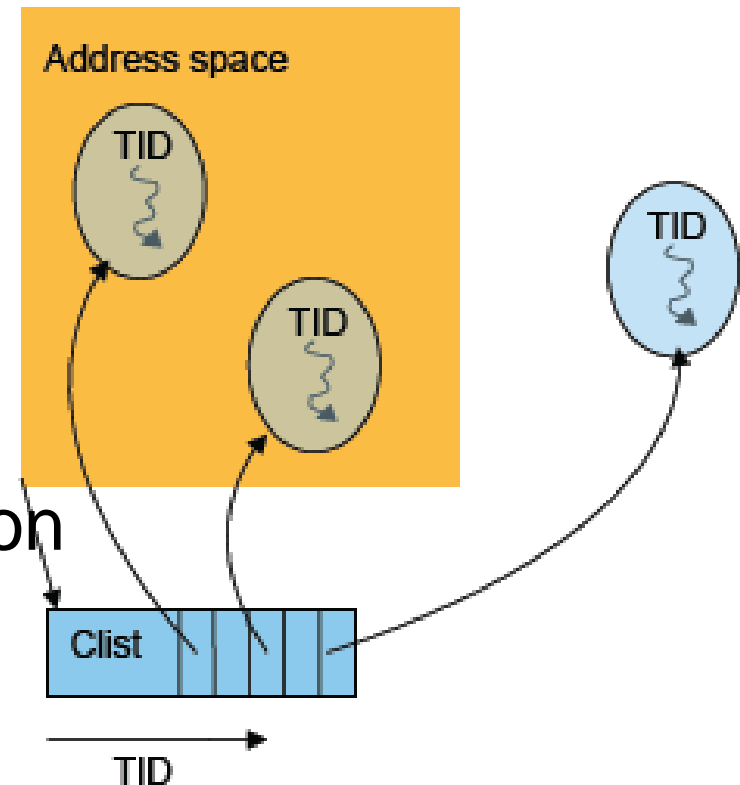
- E! -a e ' ;a' re!!a%e. unité ' e -rote tion
 - Initia,ement 8i' e
 - Rem-,i -ar Tlla1out ' e -a%e frameUV
- 51out/ retrait Qone! mémoire
 - 8ia Ma- (ontro,?A ?a--e, au μNoyauA
 - Initia,ement !eu,ement 8ia tW)e ra ine -ri8i,é%iée
 - ▶ ?Sorte ' e initA
 - "er!ion! X 202.
 - ▶ \$,u! ' e tW)e ra ine* -,u! ' ;a--e,! !y!t>me! -ri8i,é%ié!
 - ▶ &ti,i!ation ' e! TU(a-a ité!UV ?8oir -,u! ,oinA

ON44. T)rea' !

- T)rea' . &nité ' l;exé ution
 - Or' onnan ée -ar ,e μ-Noyau
- Source/destination des IPC
 - Souvent on utilise des « ports » (indirection)
- La capacité -nom local- utilisée pour nommer la thread
 - Détermine les droits d'émission / réception
 - Appelée "thread Id (raison historique)
- 5!!o iée 7 un e! -a e ' ;a' re!!a%e
- \$aram>tre! ' ;or' onnan ement

ON44. (a-a ité!

- (a-a ité.
 - @é!i%ne ,e! t)rea' !
 - In' ex ,o a, ' an! ,a ,i!te ' e!
a-a ité! ' e ,e! -a e
' ;a' re!!a%e0
- @étermine ,e! ' roit!
 - En8oi ' e me!!a%e 7 ' e!tination
' e ,a t)rea'
 - 5utre!
- Nom ,o a, ' ;une re!!our e
%,oba,e

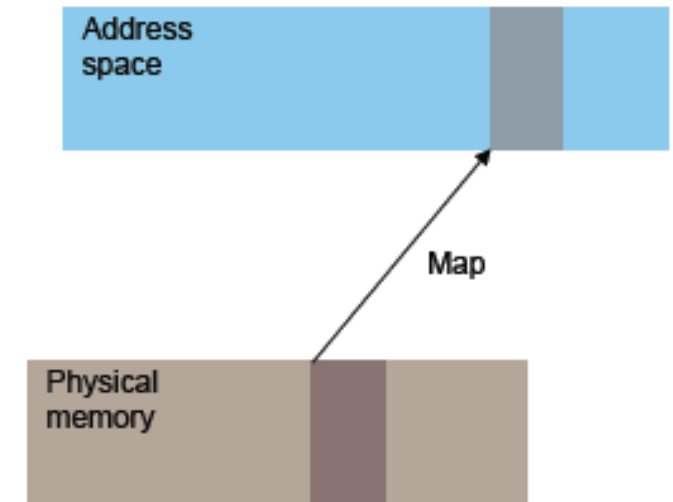


ON44. I\$(

- En8oi ' e me!!a%e !yn)rone
- (o-ie ' ire te ' e! ' onnée! ' e ,;émetteur au ré e-teur
- Me!!a%e! ourt! tran!féré! 8ia re%i!tre!
- Me!!a%e! ,on%! tran!féré! -ar ,e μ -Noyau
- 5--e, ré e-tion b,oquant ou -ar TU-o,,UV
- I, exi!te une 8ariante a!yn)rone

ON44. Mapping mémoire

- Séparation entre une adresse virtuelle et une adresse physique
 - `mapControl()`
 - Capacité mémoire
- Taille / état de l'adresse virtuelle
 - @évaluation ? ; une partie de la mémoire est utilisée par le μ-Noyau



ON44. Gestion 'e! Ex e-tion!

- Interru-tion! .
 - En8oi ' e me!!a%e! ' e-ui! ' e! Tl-!eu' o-t)rea' !llV
matérie,,e!
 - "er! ' e! t)rea' ! -ré-' é ,arée! ?mo' e uti,i!ateurA
- : aute! ' e -a%e
 - En8oi ' ;un me!!a%e ' e ,a t)rea' fauti8e 8er! une
t)rea' ' u !er8eur re! -on!ab,e ' e ,a %e!tion ' e
,;e! -a e ' ;a' re!!a%e ?a--e,é -a%erA
 - Me!!a%e ré-on!e Tlinter e-téllV -ar μ-Noyau
- 5utre! ex e-tion! . mé ani!me !imi,aire

ON44 201. 5\$I

- 9 5--e,! !y!t>me! -ri8i,é%ieé!
 - (ontrS,e ' e! re!!our e!
 - \$eu8ent !eu,ement Ctre in8oqué! -ar tW)e ra ine
- Y a--e,! non -ri8i,é%ieé!
 - Ser8i e! fourni! aux a--,i ation!
 - &ti,i!ab,e! -ar toute a--,i ation
- Z -roto o,e! ' e ommuni ation
 - (ommuni ation μ-Noyau [e! -a e uti,i!ateur
 - I\$(!u--ort ' e! ex e-tion!

ON44 201. 5\$I

- 5--e,! -ri8i,é%ié! .
 - T)rea' (ontro,
 - S-a e(ontro,
 - Ma-(ontro,
 - (a-(ontro,
 - Mutex(ontro,
 - Interru-t(ontro,
 - Se urity(ontro,
 - (a)e(ontro,
 - \$,atform(ontro,
- 5--e,! non--ri8i,é%ié! .
 - Ex)an%eRe%i!ter!
 - I-
 - S)e' u,e
 - T)rea' S/it)
 - Mutex
 - Memory(o-y
 - S-a eS/it)
- \$roto o,e!
 - \$a%e : au,t
 - Interru-tion
 - Ex e-tion

ON44 201. T) rea' !

- Mabitue,,ement une t) rea' re-ré! ente
 - 5b! tra tion ' ;exé ution ' éfinie -ar
 - ▶ Re%i! tre! ?%énéraux et re%i! tre! ' ;étatA et une \$i,e
- &ne t) rea' ON44 ' i! -o! e au! !i ' e.
 - Re%i! tre! " irtue,! ?8rai! re%i! tre! ou mémoire !e,on 53IA
 - ▶ @éfini! -ar ,e μ-Noyau* 8i! ib,e! ' e-ui! a-- ,i ation
 - ▶ T) rea' (ontro, Re%i! ter! O Me!! a%e (ontro, Re%i! ter!
 - \$riorité ?or' onnan ementA* quantum ' e tem-!
 - E! -a e ' ;a' re!! a%e

ON44 201. T)rea' !

- Etat. T)rea' (ontro, 3,o 6
 - NT(3. état %éré et a e!!ib,e !eu,ement -ar ,e μ-Noyau
 - &T(3. état 8i!ib,e -ar a-- ,i ation
 - ▶ Ne nuit -a! 7 ,a !é urité
 - ▶ Mo' ifié !eu,ement 8ia ,e! ,ibrairie! a--ro-riée!

ON44 201. Gestion 'e! t)rea' !

```
L4_ThreadControl (
    thread, /* new TID */
    addr_spc, /* A.S. to create thread in */
    scheduler, /* scheduler of new thread */
    pager, /* pager of new thread */
    exc_hdlr, /* exception handler */
    resources, /* thread resources */
    utcb); /* utcb address
```

- (réation. ti' O 5S
- @e!tru tion. Ti' O 5S \ Ni,

ON44 201. 5 titration T)rea'

```
L4_ xchange!eg"s ters(
    L4_Thread#d_t target,  L4_$ord_t control,
    L4_$ord_t sp, L4_$ord_t "p, L4_$ord_t %lags,
    . . . . . );

L4_Start_Sp#p( L4_Thread#d_t thread,
    L4_$ord_t sp,  L4_$ord_t "p); /* &"lb"oth'(ue */
```

- permet un contrS,e fin !ur ,e! re%i!tre!0
 - Seu, moyen ' e ' éfinir ,e ontexte initia,. S\$ / I\$
- \$ar ai,,eur!* ,e μ-Noyau ne %>re -a! ,e!
 - exten!ion! automatique! ' e -i,e uti,i!ateur

ON44 201 . I\$ (

- P)an%e ' e me!!a%e! tou1our! !yn)rone
?ren' eQ-8ou!A
 - Tran!fert effe tué !eu,ement quan' ,;émetteur et ,e
ré e-teur !ont -rCt!l
 - 4e -remier e!t b,oqué 1u!qu;7 tem-! que ,;autre !oit
-rCt0
- 3énéfi e! .
 - Syn)roni!ation im-,i ite
 - \$a! ' e bufferi!ation ' e! ' onnée! ' an! ,e μ-Noyau
 - @onnée! o-iée! au -,u! une foi!

ON44 201 . I\$(

- &unique a--e, !y!t>me I\$(.
 - In ,ut un en8oi et une ré e-tion ' e me!!a%e*)a un étant atomique et o-tionne,
- O-ération ' ;émi!!ion !-é ifie une t)rea' ' e!tinataire
- O-ération ' e ré e-tion -eut .
 - S-é ifier un émetteur -arti u,ier ?] ,o!e' re ei8e^A
 - 5tten' re ' e! me!!a%e! que, onque! ?]o-en /ait^A
- Pmi!!ion / Ré e-tion -eu8ent Ctire.
 - 3,oquante ?1u!qu;7 e que ,;autre !oit -rCtA
 - TU-o,,in%UV - erreur !i ,;autre n;e!t -a! -rCt

ON44 201 . I\$(me!!a%e!

- @année! obtenue! ' an! ,e!
 - Me!!a%e Re%i!ter! ?entre K et L4A
- Re%i!tre! "irtue,!
 - &ti,i!ent !oit ' e 8rai! re%i!tre! matière,!* !oit &T(3
- I\$(. effe tue une !im-,e o-ie ' e! ' année!
 - Re%i!tre! matière,! ?-a! ' e o-ielA
 - \$ermet une im-,émentation ,é%>re et ra-i' e -our e! a! o-timi!é!0
- Me!!a%e! -,u! %ran' ! \X Memory(o-y

ON44 201. Or' onnan ement

- \$riorité! fixe! ' e 0 7 2RR O Roun' -Robin 7
-riorité! é%a,e!
- Or' onnan eur in8oqué.
 - Sur ex-iration ' e time !,i e* _ie,'
 - 3,o a%e / ' éb,o a%e ?I\$(a,, -ar exem-,eA
- TUMérita%e ' ;or' onnan ementUV. I\$(* mutex
- 5--e,! .
 - S)e' u,e ?mani-u,ation ' e! -aram>tre!A
 - T)rea' S/it) ?' on ' u tem-! re!tant 7 une t)rea' JA

ON44 201 . (réaction ' ;un TU-ro e!!u!UV

- (réaction ' ;un nou8e, e! -a e ' ;a' re!!a%e ?5SA .
 - 5--e, . S-a e(ontro,?A O000
- Ma--a%e mémoire ' an! 5S .
 - 5--e, . Ma-(ontro,?A
 - ▶ (o' e* ' onnée!* -i,e
 - ▶ 5ttention* ,e μ -Noyau n;a -a! ' e SG: I
- (réer une t)rea'
 - 5--e, .T)rea' (ontro,?A
- @émarrer ,a 1>re t)rea'
- 5--e, . Ex)an%eRe%i!ter!?A

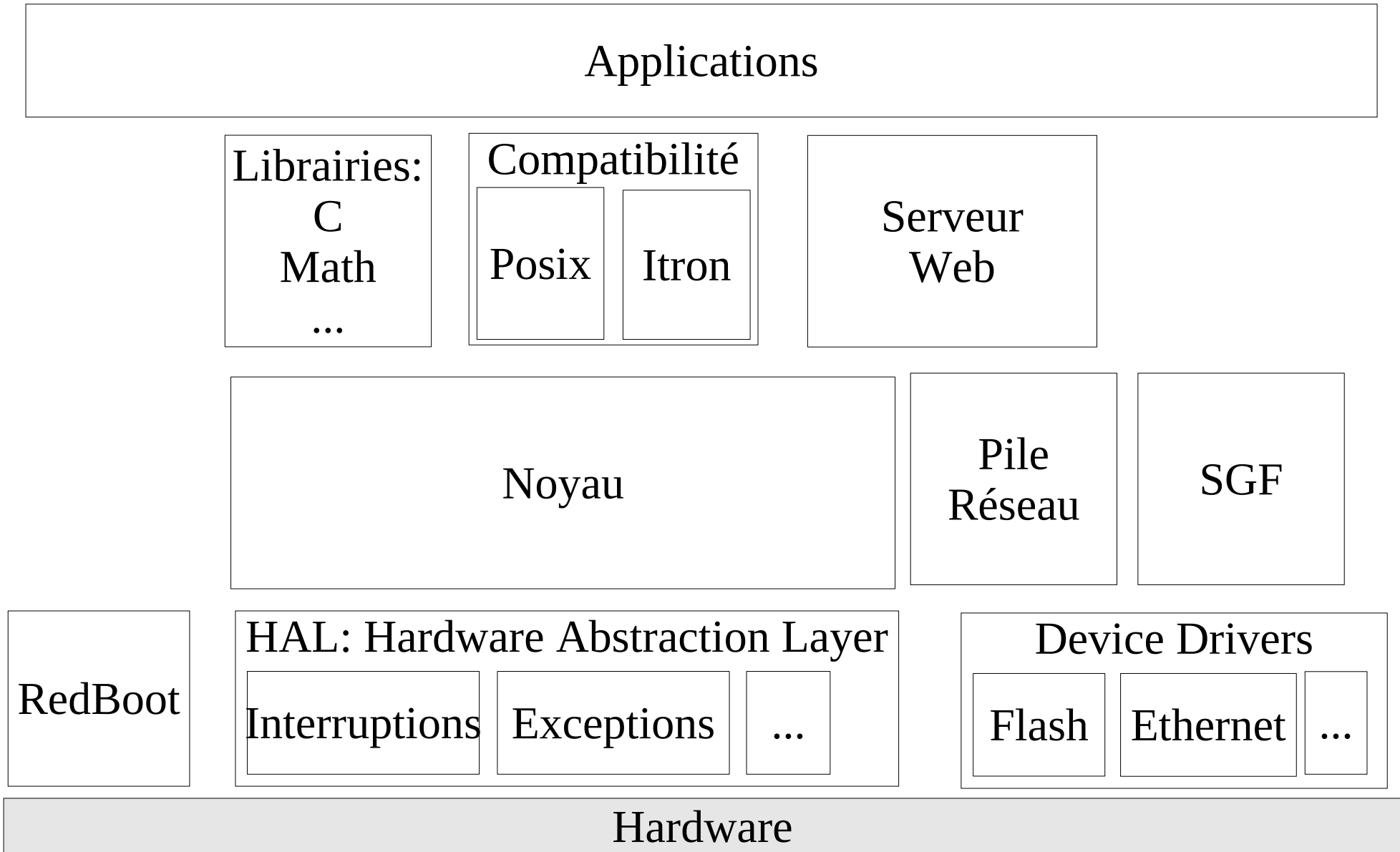
E o! . référen e!

-)tt-./e o!0!our e/are0or%
- EM3E@@E@ SO:TB5RE @E" E4O\$MENT BITM
E(OS` 5nt)ony +0 Ma!!a ?\$RENTI(E M544A

e(o!

- Sy!t>me embarqué Tem-!-rée, O-en Sour e
- \$ro e!!eur! !u--orté! .
 - 5RM
 - Inte, xKL
 - MI\$S
 - \$o/er\$(
 - : u1it!u : R-"* Mita)i MK/Z00* Mat!u!)ita 5MZx
 - NE(" Kxx* Sam!un% (a,mRIS(1L/Z2* Su-erM
 - S\$5R(* S\$5R(,ite

e(o!



Ser8i e! e(o!

- 5-- ,i ation! mu,ti-t)rea'
 - \$a! ' e notion ' e tW)e ou -ro e!!u!
 - E! -a e ' ;a' re!!a%e ommun a8e ,e noyau e(o!
 - ▶ \$a! ' e -rote tion!
- \$rin i-aux Ser8i e!
 - Ge!tion ' e t)rea' !
 - Or' onnan ement
 - Syn)roni!ation
- Sy!t>me ' e fi)ier!* ré!eau . -aqueta%e! a' ' itionne,!0
- P rit en (OO* 5\$I en (

e(o! . -rin i-e

- 5-- ,i ation ' oit fournir mémoire né e!!aire -our
 ,e! ' e! ri-teur! !y!t>me! et ,a -i,e
 - e(o! n;a,,oue -a! ' e mémoire ' ynamiquement
 - \X \$,u! !im-,e* -,u! ' étermini!te00 mai!
ru' imentaire0

E o! . réation ' e T)rea'

- (réation.
 - `c)g_thread_create(pr"o, %n, arg, *na+e*, stac,, stac,s"-e, .th/handle, .th0esc);`
 - `1o"d %n(c)g_addr2ord_t data) 3...4`
- T)rea' réée en état T0!u!-en' u0V
 - `c)g_thread_resu+e (th/handle);`
- \$a! ' e te!t! ' e ' ébor' ement ' e -i,e* -a!
' ;exten!ion automatique ' e -i,e

e(o! T)rea' !er8i e!

```
10"d cyg_thread_yield(10"d);  
10"d cyg_thread_delay(c)g_t"c,_count_t  
del a));  
10"d cyg_thread_suspend(c)g_handle_t  
thread);  
10"d cyg_thread_resume(c)g_handle_t  
thread);  
10"d cyg_thread_release(c)g_handle_t  
thread);
```

e(o! T)rea' !er8i e!

cyg_thread_self

cyg_thread_idle_thread

cyg_thread_get_stack_base

cyg_thread_get_stack_size

cyg_thread_measure_stack_usage

cyg_thread_get_next

cyg_thread_get_info

cyg_thread_get_id

cyg_thread_find

e(o! T)rea' !er8i e!

cyg_thread_exit

cyg_thread_kill

cyg_thread_delete

cyg_thread_get_priority

cyg_thread_get_current_priority

cyg_thread_set_priority

Ordonnement

- Mu,ti4e8e, <ueue
 - \$riorité! fixe! 0 7 Z1
 - Roun' Robin
- 3itMa-
 - \$riorité! fixe! 0 7 Z1
 - 1 t)rea' max -ar ni8eau ' e -riorité

Écriture de la sémantique

- Mutex
 - Non récursif*) écriture de la priorité
- Sémaphore
- Event
- Compteur
- Mailbox
- 5, arme*) or, o%