

ÉQUIPEMENTS TÉLÉCOMS : LE LOGICIEL CLÉS EN MAIN S'ÉRIGE EN RÈGLE

En matière de logiciels pour équipements d'infrastructures télécoms, les constructeurs souhaitent désormais se concentrer (et se différencier) sur leur valeur ajoutée applicative. Des OS à l'intergiciel de haute disponibilité, la tendance générale est à l'achat sur étagère. D'autant que les éditeurs font tout pour les aider à migrer vers les architectures multicœurs !

Multicœur : le logiciel enfoui répond présent

A lors que la pression économique des entreprises chinoises se fait sentir chaque jour un peu plus, le marché des équipements pour infrastructures télécoms connaît aujourd'hui des évolutions technologiques majeures : migration des réseaux de radiocommunications mobiles vers la 4G (Wimax, LTE, etc.), basculement des cœurs de réseaux vers l'architecture IMS (IP Multimedia Subsystem), convergence fixe/mobile, conversion au tout-IP, explosion des débits due au succès de la vidéo sur IP (TV sur ADSL, vidéo à la demande, etc.). Autant d'évolutions qui posent de sérieux défis aux équipementiers. Concevoir des produits avec les performances attendues, tout en restant compétitifs au niveau des prix, apparaît en effet particulièrement difficile dans une logique de développement traditionnel basée sur des transformations progressives d'architectures bien rodées. « Les équipementiers se doivent désormais d'effectuer un saut technologique, mais il faut qu'ils franchissent cette étape sans surcoût réhibitoire », confirme Laurent Accard, directeur général France d'Enea, éditeur suédois bien implanté sur le marché télécoms avec les OS temps réel de la gamme OSE et l'intergiciel de haute disponibilité Element. C'est la raison pour laquelle la recours à des briques de base sur étagère se généralise, tant au niveau matériel que logi-

ciel ». Côté matériel, le basculement vers les architectures ouvertes en châssis *AdvancedTCA** et *MicroTCA**, favorisé par une offre pléthorique en cartes ATCA et mezzanines *AMC**, est déjà bien entamé (voir, par exemple, *EI* n° 649). D'autant que les grands équipementiers télécoms, réunis au sein de l'alliance Scope (voir encadré page 25), veillent à minimiser les problèmes d'interopérabilité et d'interchangeabilité des sous-systèmes en publiant des " profils " ad hoc.

Des éditeurs fortement impliqués

Côté logiciel, les industriels du secteur ne jurent plus que par Linux, tout du moins pour l'exécution du plan de contrôle (*control plane*) des équipements, ce sous-ensemble fonctionnel qui prend en charge la signalisation, la gestion du trafic et l'administration système et qui n'a guère de contraintes temps réel drastiques à respecter. Un engouement qui s'est cristallisé dès 2002 par la création du groupe de travail " Carrier Grade Linux " (CGL) au sein de l'OSDL, organisme aujourd'hui connu sous le nom de Foundation Linux depuis sa fusion début 2007 avec le Free Standards Group (lire notre dossier *Le logiciel libre appose sa marque sur l'embarqué* dans *EI* n° 640).

La ruée des équipementiers télécoms vers l'OS libre fait bien évidemment les choux gras d'éditeurs de distributions Linux génériques

comme Red Hat (sur le créneau des serveurs télécoms) ou de spécialistes de distributions Linux embarqués comme MontaVista et Wind River. Ces deux derniers sont d'ailleurs très impliqués dans les travaux du groupe CGL. Dan Cauchy, le directeur marketing produits opérateurs et mobiles de MontaVista, a ainsi accédé au poste de président du groupe de travail le 1^{er} novembre dernier. Wind River, pour sa part, a annoncé début février qu'il était le premier éditeur à pouvoir livrer une distribution de l'OS libre qui soit conforme aux spécifications CGL 4.0 publiées il y a un an, en l'occurrence l'environnement Wind River Platform for Network Equipment, Linux Edition 2.0. Alignées sur le profil " Carrier Grade " de l'alliance Scope, les spécifications CGL 4.0 définissent plus de 250 exigences (dont 135 absolument obligatoires) auxquelles se doivent d'obéir les Linux dits " de

classe opéra-

teur " pour obte-

nir le précieux

label de conformi-

té. Ces exigen-

ces recouvrent sept

domaines diffé-

rents : les perfor-

mances, le support

matériel, la conformité

aux standards, la disponi-

bilité des services, la tolérance

aux fautes, la sécurité et les fonctions de mise

en grappes (*clustering*).

« Si le plan de contrôle des équipements télé-

coms est habituellement réservé à Linux et

aux architectures x86, l'OS libre arrive aussi

au niveau du plan utilisateur, en conjonction

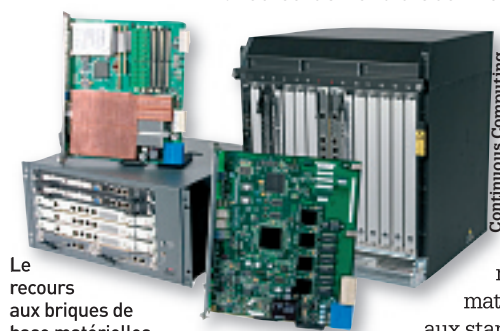
parfois avec des systèmes d'exploitation

temps réel lorsqu'il y a des contraintes spé-

cifiques », remarque Stéphane Deruelle,

directeur régional Europe du Sud de Wind

River. Le plan utilisateur ou plan de données



Le recours aux briques de base matérielles (ATCA, AMC...) et logicielles (Linux...) devient systématique.

Continuous Computing

(data plane) est le sous-ensemble fonctionnel qui traite le trafic télécoms proprement dit. Il est en général confié à des processeurs spécialisés dans le traitement de paquets, voire à des DSP lorsque des algorithmes de traitement du signal complexes doivent être mis en œuvre (stations de base, passerelles VoIP, media gateways, etc.). « Cette tendance va de pair avec le recours de plus en plus systématique aux architectures multicœurs pour l'exécution du plan utilisateur », ajoute Stéphane Deruelle. Une évolution technologique qui touche de plein fouet les équipements pour infrastructures télécoms et réseaux. De fait, hors informatique, ce sont les secteurs des télécommunications et de la défense qui s'avèrent les plus consommateurs de ce genre de circuits.

Architectures multicœurs : une nécessité

Confrontés à des besoins en performances toujours plus élevés, besoins liés à l'augmentation des débits véhiculés et à la complexité grandissante des traitements à effectuer, les constructeurs télécoms n'ont en effet pas d'autre choix que de se tourner vers des processeurs multicœurs s'ils veulent garder la consommation, la dissipation thermique et l'encombrement de leurs matériels à des niveaux acceptables. Rien d'étonnant donc à voir se multiplier les offres de cartes ATCA ou AMC dédiées télécoms intégrant des circuits multicœurs, qu'il s'agisse de processeurs à architecture x86 (tels les Dual Core Xeon d'Intel), PowerPC (le MPC8641D à double cœur de Freescale en particulier) ou Mips (les circuits de Broadcom, de Cavium ou de RMI notamment). Sans oublier les cartes à base de DSP multicœurs signés Freescale ou TI...

Face à cette mutation de fond, les éditeurs d'OS temps réel présents sur le marché des

L'arrivée de circuits multicœurs dans les équipements télécoms (tels que l'Octeon de Cavium) a obligé les éditeurs d'OS enfouis à réagir.

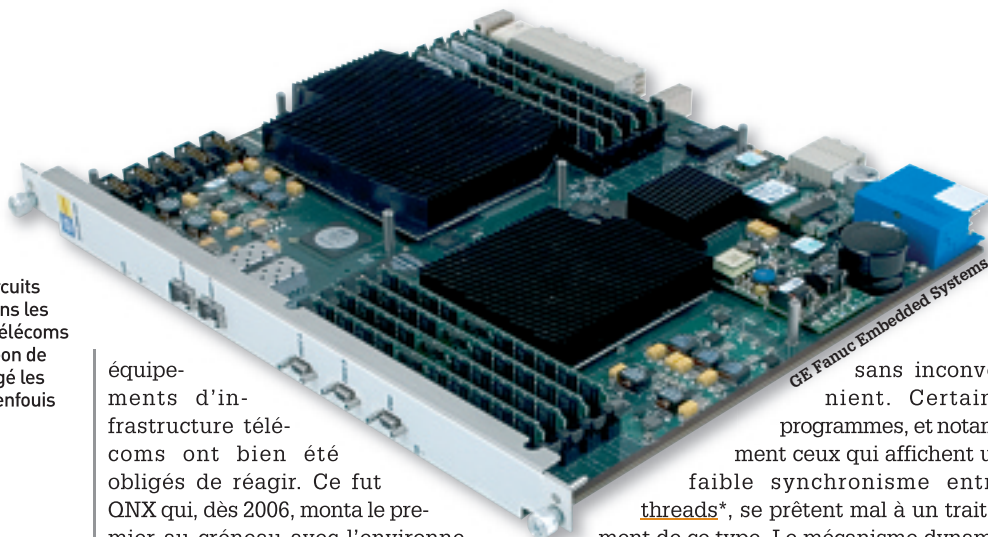
équipements d'infrastructure télécoms ont bien été obligés de réagir. Ce fut QNX qui, dès 2006, monta le premier au créneau avec l'environnement Momentics, Multicore Edition, un environnement apte à supporter à la fois les modes multiprocesseurs symétrique (SMP) et asymétrique (AMP) ainsi qu'un mode hybride dit "Bound Multiprocessing" (BMP), initié par l'éditeur. Le mode AMP, rappelons-le, consiste à associer à chaque cœur un environnement logiciel distinct (OS et applications), les OS pouvant être identiques ou différents – Linux et un OS temps réel comme QNX Neutrino, par exemple. Un tel modèle convient bien aux programmes qui n'ont pas été conçus pour un traitement parallèle, mais il nécessite de relever quelques défis techniques au niveau de la synchronisation des cœurs (qui ne peut se faire qu'au niveau applicatif) et du partage des ressources. Par ailleurs, les capacités d'évolution du design sont limitées. Le mode SMP, quant à lui, ne pose pas ce genre de problèmes, puisque c'est un OS unique qui gère l'ensemble des processeurs et qui peut, de ce fait, équilibrer la charge de travail sur les différents cœurs, quel que soit leur nombre. Reste que ce modèle n'est pas, lui non plus,

sans inconvénient. Certains programmes, et notamment ceux qui affichent un faible synchronisme entre threads*, se prêtent mal à un traitement de ce type. Le mécanisme dynamique d'équilibrage de charge peut aussi générer un overhead pénalisant pour des applications auxquelles, dans l'absolu, il vaudrait mieux dédier un processeur. Le mode BMP, lui, cumule les avantages des deux précédentes approches. Il permet, simultanément, de coupler des applications ou des threads – les programmes "historiques" de l'équipementier notamment – à un cœur donné et de faire du traitement SMP sur de nouvelles applications développées spécifiquement pour le multicœur.

Une aubaine pour la virtualisation

Wind River a également, de son côté, répondu présent. Depuis la fin 2007, le support du SMP est disponible en tant que composante optionnelle pour toutes les plates-formes temps réel embarquées VxWorks 6.6. Cette offre veut faciliter le travail des développeurs en cours de migration vers des architectures de processeurs multicœurs, tout particulièrement dans le domaine des équipements pour infrastructures télécoms. « Notre société continue à investir de manière importante sur VxWorks », note Stéphane Deruelle. Nous avons travaillé un an et demi sur le support du SMP afin qu'une seule instance de VxWorks puisse tourner sur plusieurs cœurs ». L'éditeur précise toutefois qu'en fonction des besoins des équipementiers, il est également apte à fournir des solutions hétérogènes avec VxWorks tournant sur l'un des cœurs, tandis que Linux s'exécute sur tous les autres. Même constat chez Enea. « Sur le terrain, il existe deux modes d'exécution pour notre OS temps réel Ose en environnement multicœur », détaille Laurent Accard. Nous avons ainsi développé une version SMP d'Ose pour le processeur bicœur 8641D de Freescale, mais sur un Cavium multicœur, la solution communément utilisée est de type AMP avec, éventuellement, un interfonctionnement avec un autre OS comme Linux ».

« Chez tous les équipementiers, la tendance est la même, ajoute Stéphane Deruelle. Ils cherchent à réduire à tout prix le nombre de



DES ORGANISMES INDUSTRIELS QUI VEILLENT À L'INTEROPÉRABILITÉ DE L'OFFRE...

Désormais en quête de briques de base matérielles et logicielles sur étagère, les grands équipementiers télécoms ont mis sur pied plusieurs organismes industriels chargés d'exprimer au mieux leurs besoins :

→ Créée en 2006, l'alliance Scope édicte des recommandations sous la forme de "profils d'implantation", censés éviter la fragmentation du marché autour de déclinaisons non compatibles à 100% de standards publiés par le comité PICMG, la Fondation Linux ou le Forum Service Availability (SA Forum). Ces profils visent aussi à réduire les coûts de développement, raccourcir les cycles de conception et encourager l'usage de briques de base disponibles sur étagère. Elle a déjà publié des profils d'implantation ATCA, AdvancedMC, MicroTCA, Carrier Grade Linux et Carrier Grade Middleware. L'alliance Scope compte parmi ses membres Alcatel-Lucent, Ericsson, Huawei, Motorola, Nec, Nokia Siemens Networks, Nortel, Emerson Network Power, Enea, Flextronics, GE Fanuc Embedded Systems, GoAhead, HP, Intel, Kontron, MontaVista,

Cavium, RadiSys, Red Hat, Sun, TI, VirtualLogix et Wind River.

→ Créé fin 2001, le Forum Service Availability (SA Forum) développe des interfaces logicielles ouvertes dont le but est de simplifier le processus de mise au point d'équipements et d'applications à haute disponibilité pour les infrastructures télécoms. L'organisme a défini la spécification HPI (Hardware Platform Interface) qui stipule les interfaces entre la plate-forme matérielle, le système d'exploitation embarqué (Linux en général) et l'intergiciel de haute disponibilité (voir encadré page 26), ainsi que la spécification AIS (Application Interface Specification) qui, elle, traite des interactions entre l'OS, l'intergiciel et les applicatifs. Parmi les membres du SA Forum, on compte Alcatel-Lucent, Continuous Computing, Emerson Network Power, Enea, Ericsson, Fujitsu, GoAhead, HP, Huawei, IBM, Intel, MontaVista, Motorola, Nec, Nokia Siemens Networks, Nortel, NTT, OpenClovis, RadiSys, Sun et Wind River.

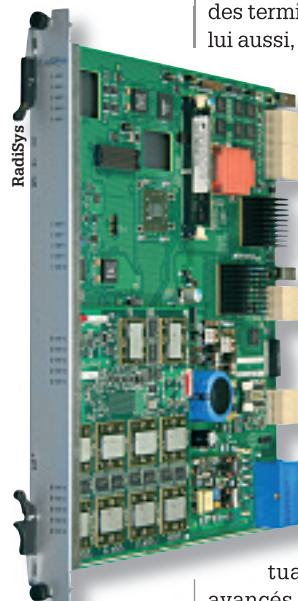


Nokia Siemens Networks

cartes et le nombre de processeurs». Un mouvement de fond qui, couplé avec la généralisation des architectures multicœurs, fait aussi l'affaire des spécialistes de la virtualisation* comme VirtualLogix et Trango Virtual Processors. Aussi VirtualLogix a-t-il lancé fin 2007 une solution dédiée aux DSP multicœurs C64+ de TI qui permet à une même plate-forme d'exécuter, non seulement les applications évoluées de traitement du signal, mais également les tâches tradi-

tionnelles de contrôle, tâches en général dévolues à un microprocesseur généraliste distinct. Dans la pratique, le logiciel de virtualisation "VLX for Communications Infrastructure" fait cohabiter sur le DSP multicœur un système d'exploitation Linux et l'exécutif temps réel DSP/Bios. A la clé : réduction de la facture matérielle, des frais de maintenance et des coûts de développement. Sous le nom de "VLX for Network Infrastructure", VirtualLogix propose par ailleurs une solution de virtualisation pour les circuits multi-

Le marché des équipements pour infrastructures télécoms connaît aujourd'hui des évolutions techniques majeures. Exemple : la migration des réseaux radiocomms vers la 4G (Wimax, LTE, etc).



Logiciels de virtualisation, intergiciels de gestion de grappes de DSP, l'offre logicielle pour DSP multicœurs dédiés télécoms s'étoffe.

cœurs d'Intel basés sur la microarchitecture Core. Cette fois-ci, il s'agit d'exécuter simultanément, sur le même processeur, Linux et un système d'exploitation temps réel, propriétaire ou non (comme VxWorks). Une approche qui autorise notamment l'équipementier à rapatrier sur une lame Linux des applications "maison" tournant jusqu'alors sur des cartes dédiées.

Egalement éditeur de logiciels de virtualisation et déjà bien positionné sur le créneau des terminaux mobiles, le français Trango a, lui aussi, l'intention de ne pas laisser le marché des équipements pour infrastructures télécoms lui échapper.

A cet égard, la firme dauphinoise vient de signer un premier accord de coopération dans ce domaine avec Cavium. Objectif : porter l'hyperviseur Trango, qui peut exécuter simultanément Linux et des OS temps réel, sur les circuits multicœurs Octeon.

«L'hyperviseur va prendre en charge lui-même l'équilibrage de charge, répartir les ressources, éteindre les cœurs non utilisés et, partant, contribuer à faire chuter la consommation», explique Andry Ramiandrasoa, directeur marketing de Trango Virtual Processors.

Autres avantages avancés : l'amélioration de la fiabilité de fonctionnement (grâce au cloisonnement des différents environnements d'exécution) et la virtualisation des entrées/sorties (avec priorité accordée à l'environnement temps réel et/ou aux applications nécessitant une qualité de service supérieure).

Mais il est encore un autre type de société qui bénéficie de la pénétration des circuits multicœurs au sein des équipements pour infrastructures télécoms. La firme française 6Wind en est l'exemple typique. Spécialiste des piles de protocoles réseaux (tant pour le plan de contrôle que pour le plan utilisateur) avec sa gamme 6WindGate, elle a développé une couche logicielle Linux qui prend en charge toute la complexité de l'architecture multicœur et qui tire parti des capacités matérielles du circuit dans le traitement des paquets (répartition de la charge entre les cœurs, gestion de priorités, cryptographie éventuelle, inspection des paquets, etc.). Une approche qui permet au constructeur, là aussi, de se focaliser sur la valeur ajoutée applicative de son produit. L'offre 6WindGate a notamment déjà été validée sur des processeurs Intel Xeon multicœurs ainsi que sur des circuits multicœurs à architecture Mips de Cavium et de RMI. Côté logiciels, 6Wind a signé des partenariats avec Wind River et MontaVista pour intégrer la solution 6WindGate aux distributions Linux respectives des deux éditeurs.

PIERRICK ARLOT

L'INTERGICIEL DE HAUTE DISPONIBILITÉ SE TROUVE AUSSI SUR ÉTAGÈRE

→ Les industriels des télécoms veulent de moins en moins continuer de maintenir des intergiciels de haute disponibilité propriétaires – ces couches de middleware situées entre OS et applications qui garantissent un fonctionnement correct des équipements et des services au moins 99,999% du temps. Un changement d'attitude que certains éditeurs de logiciels enfouis ont déjà commencé d'exploiter. C'est le cas de l'américain GoAhead Software, avec son produit SelfReliant, et du suédois Enea, avec son offre baptisée Element (lire notre article page 27). Element est à la fois disponible sur les OS temps réel de la gamme Ose et sur une variété de Linux (Red Hat, Monta Vista, Wind River, etc.). Element peut également s'interconnecter à la plate-forme dSpeed lancée fin 2007 par Enea pour la gestion de grappes de DSP (démarrage et configuration, gestion des erreurs, contrôle et supervision, notification d'événements, suivi de tâches, diagnostics, statistiques, débogage à distance, etc.).

→ Des intergiciels de haute disponibilité sont par

ailleurs disponibles en source libre. Créée en 2002, la société californienne OpenClovis Solutions diffuse ainsi sous licence GPL sa plate-forme modulaire OpenClovis Application Service Platform. AT&T et Intel sont entrés au capital de la firme. Son intergiciel est notamment disponible sur les Linux de classe opérateur de Red Hat, MontaVista et Wind River.

→ En janvier 2008, Emerson Network Power, Ericsson, HP, Nokia Siemens Networks et Sun ont mis sur pied la Fondation OpenSAF, afin de promouvoir l'intergiciel de haute disponibilité Open Source du même nom, basé sur les spécifications du SA Forum (voir encadré page 25). Issu d'une initiative lancée en février 2007 par Motorola (dont les activités embarquées ont été reprises depuis par le groupe Emerson), cet intergiciel est proposé sous licence LGPLv2.1 (Lesser GNU Public License). Il supporte notamment la spécification d'API AIS (Application Interface Specification) du SA Forum et respecte les recommandations de l'alliance Scope.

*CF LEXIQUE PAGE 46

JOHAN WALL PRÉSIDENT ET CEO D'ENEA

« L'externalisation des intergiciels de haute disponibilité a déjà commencé »

Quelles sont les principales caractéristiques d'un intergiciel de haute disponibilité ? Pourquoi ce type de logiciel revêt-il autant d'importance aux yeux des équipementiers télécoms ?

JOHAN WALL Avec la généralisation des offres mobiles 3G et des offres triple play, les abonnés s'attendent à ce que les opérateurs leur assurent une disponibilité ininterrompue des services. Seuls des intergiciels de haute disponibilité robustes et évolués peuvent, une fois intégrés dans des équipements d'infrastructure télécoms, satisfaire une telle attente. Ces logiciels ont en effet la capacité de détecter et de corriger des erreurs avant même que le service ne soit interrompu. Les intergiciels de haute disponibilité évolués réalisent ce tour de force grâce au support de configurations redondantes au coût limité et à une gestion proactive de l'état de toutes les ressources de l'équipement, qu'elles soient matérielles ou logicielles. Dès qu'une ressource système montre des signes de défaillance, ils sont capables de réagir rapidement en basculant les fonctions sur une ressource de secours avant que l'équipement ne s'arrête. Mais, si la détection d'erreurs et la reprise en main automatique sont des caractéristiques essentielles d'un intergiciel de haute disponibilité robuste, il faut aussi que ce dernier évite au maximum l'arrêt du système lors des maintenances – à l'occasion d'un changement de cartes par exemple – et des mises à jour logicielles, que ce soit au niveau des OS, des applications ou de l'intergiciel lui-même. Enfin, les solutions les plus avancées, tel que le produit Element d'Enea, sont également aptes à gérer le plan utilisateur – *data plane* en anglais – et non pas seulement le plan de contrôle – *control plane* – dans les équipements télécoms, c'est-à-dire les éléments qui traitent directement le trafic utilisateur, comme les grappes de DSP dans les applications très gourmandes en puissance de calcul : cartes de traitement bande de base, stations de base, passerelles multimédias évoluées, etc. C'est notamment l'une des fonctions de la plate-forme logicielle dSpeed lancée par Enea il y a quelques mois, une plate-forme qui s'intègre étroitement avec l'intergiciel de haute disponibilité Element que nous commercialisons depuis fin 2005.

Pourquoi voit-on apparaître sur le marché une offre d'intergiciels de haute disponibilité "sur étagère" ?

JOHAN WALL Les équipementiers télécoms concentrent désormais leurs efforts de



JOHAN WALL, président et CEO d'Enea

« Les équipementiers ont aujourd'hui l'opportunité de recentrer leurs activités de R&D sur les applications et les services qui constituent leur véritable valeur ajoutée et qui sont réellement générateurs de chiffre d'affaires. »

développement et de déploiement sur les multiples services générateurs de revenus réclamés par les opérateurs. Alors que leurs ressources internes en R&D diminuent et que le temps de mise sur le marché des produits se réduit inexorablement, ils se doivent donc de mettre en place de nouvelles stratégies de conception et d'intégration. Certes, les intergiciels de haute disponibilité sont des composantes essentielles et critiques de leurs équipements, mais leur problématique est maintenant bien comprise

par l'écosystème télécoms et les organismes de normalisation. Les équipementiers ont donc aujourd'hui l'opportunité d'externaliser ce type de logiciel et de recentrer leurs activités de R&D sur les applications et les services qui constituent leur véritable valeur ajoutée et qui sont réellement générateurs de chiffre d'affaires. Cette stratégie de recours à des intergiciels de haute disponibilité "sur étagère" est déjà très largement appliquée par les nouveaux entrants et les équipementiers de deuxième rang. Pourquoi ? Pour la simple et bonne raison qu'ils n'ont pas d'historique à gérer et qu'ils ont naturellement focalisé leurs efforts de R&D sur leurs spécificités. L'existence de l'alliance Scope encourage aussi cette tendance à l'externalisation. Cette organisation créée par les constructeurs télécoms eux-mêmes promeut l'usage de briques de base matérielles et logicielles tierces parties au sein des équipements et s'assure que l'écosystème reste en phase avec leurs besoins.

Qu'en est-il justement de la normalisation dans le domaine des intergiciels de haute disponibilité ?

JOHAN WALL Les spécifications du Forum Service Availability (SA) ont désormais atteint un niveau de maturité suffisant pour qu'elles puissent jouer un rôle d'accélérateur vers le passage à des offres sur étagère. Elles définissent clairement les interfaces de programmation vers différentes fonctions susceptibles d'être fournies par les intergiciels de haute disponibilité telles que l'Availability Management Framework, les mécanismes de points de reprise – *checkpointing* –, la gestion des échanges de messages, etc. Toutefois, les spécifications

du Forum SA ne précisent absolument pas comment ces fonctions sont implantées dans la pratique. Chaque éditeur peut donc se différencier par la manière dont sont exécutées les fonctions de l'intergiciel. A titre d'exemple, les messages sont initiés de manière similaire dans les intergiciels compatibles avec les standards du Forum SA et ce via l'API ad hoc, mais les performances et la fiabilité des mécanismes d'échange des messages peuvent varier considérablement d'une implantation à l'autre. Chez Enea, nous estimons que l'infrastructure de messagerie Linx, que l'on trouve au cœur de l'intergiciel Element, apporte un avantage significatif grâce auquel notre société et les équipementiers qui en font le choix se distinguent de la concurrence.

Plusieurs initiatives – OpenClovis, OpenSAF, etc. – visent à développer des intergiciels de haute disponibilité sous la forme de code source libre. Comment une société telle qu'Enea compte-t-elle réagir ?

JOHAN WALL Nous sommes les premiers à reconnaître l'importance du mouvement Open Source dans le monde des télécoms. D'ailleurs, nous proposons aussi la technologie Linx en Open Source... Ceci dit, il faut se replacer dans le contexte des besoins de l'équipementier. L'intérêt d'utiliser une solution commerciale se mesure à l'aune de l'éventail des fonctionnalités offertes, de la réduction du temps d'accès au marché et des services proposés. L'intergiciel de haute disponibilité est un ensemble sophistiqué de logiciels qui contient souvent plus de 500 000 lignes de programme. Lorsqu'une société opte pour du code en source libre de cette taille, elle s'engage forcément dans une stratégie "maison". Certes, elle n'aura pas à développer l'intergiciel à partir de zéro, mais les mises à jour, les modifications, les optimisations, le débogage d'une telle masse de logiciel nécessitera forcément une période d'apprentissage de la part de développeurs expérimentés et le maintien d'une force de développement et de support interne... Une approche qui n'est pas forcément économique. Par contre, pouvoir faire appel immédiatement à des équipes externes, comme celles dont dispose Enea, peut s'avérer crucial lorsqu'il s'agira de respecter des délais de développement, de boucler dans les temps des essais menés par un opérateur ou de maintenir le bon fonctionnement d'un réseau.

PROPOS RECUEILLIS PAR PIERRICK ARLOT