

# Cisco et les Réseaux de Stockage :

## Description Technique et Stratégie

### Introduction

Cisco Systems est un acteur majeur dans les équipements pour l'interconnexion de réseaux. Le cœur de métier regroupant la commutation Ethernet et le routage IP représente environ 85 % du revenu de la société. Les 15 % restant comprennent les nouvelles technologies telles que l'Optique, la Sécurité, la Téléphonie sur IP, l'Administration, les Réseaux à diffusion de contenu, le sans-fil, etc. L'offre en équipements pour Réseaux de Stockage, bien qu'étant perçue comme une nouvelle technologie, fait partie intégrante du cœur de métier de Cisco. Cela peut surprendre au premier abord et l'objectif de ce document est de préciser pourquoi, quelle est la position de Cisco dans ce secteur de métier et quelle est notre vision pour les années à venir.

### Les méthodes d'accès aux données

Une application, via le système d'exploitation sur lequel elle s'exécute, peut accéder à ses données de deux façons, par la méthode d'accès fichier, ou par la méthode d'accès bloc. Les méthodes d'accès fichier les plus répandues sont, selon les OS, les protocoles NFS ou CIFS. Ces protocoles sont des protocoles IP, supportés directement par l'offre cœur de métier de Cisco. La méthode d'accès bloc utilise le protocole SCSI, quel que soit le système d'exploitation (à l'exception notable des Mainframes). Ce protocole SCSI définit la totalité des couches nécessaires à l'interconnexion des équipements et au transfert des données. S'il domine toujours les accès mode bloc sur les couches hautes, le protocole SCSI montrait trop de restrictions sur les couches basses, principalement sur les distances autorisées, l'adressage et la topologie. Il a donc été adapté pour utiliser d'autres médias de transport, dont un avait été développé dans ce but, le protocole Fibre Channel, issu du comité T11 de l'ANSI.

### Les médias de transport de SCSI

Fibre Channel a été standardisé en 1988 et représente une part écrasante des médias de transport SCSI, via sa couche d'encapsulation FCP. A noter que Fibre Channel dispose de nombreuses couches d'encapsulation pour des ULP divers, mais il est utilisé principalement pour le transport de SCSI.

Au début des années 2000, IBM fut l'instigateur du protocole iSCSI (SCSI over Internet Protocol), rapidement rejoint par Cisco. Il s'agissait de développer une couche d'encapsulation du protocole SCSI dans IP via TCP. L'idée était de bénéficier du réseau IP/Ethernet existant pour accéder en mode bloc, à des ressources de stockage mutualisées. Le protocole iSCSI a été standardisé par l'IETF le 11 Février 2003.

Pourquoi iSCSI n'a-t-il pas été choisi dès l'origine par la communauté stockage ?

Les premiers déploiements en production des réseaux Fibre Channel pour le transport du protocole SCSI remontent aux années 1996 / 1997. A cette époque, FastEthernet, le média le plus rapide en commutation Ethernet, ne pouvait pas garantir plus de 10 à 12 MOctets/s de transfert, alors que la technologie Fibre Channel offrait déjà un débit nominal de 100 MOctets/s. Le protocole Gigabit Ethernet a été standardisé par l'IEEE en 1998, mais la communauté stockage travaillait exclusivement au développement de Fibre Channel, présenté un temps par certains comme le remplaçant de Gigabit Ethernet, car il était aussi capable de transporter IP.



## Historique Cisco Systems

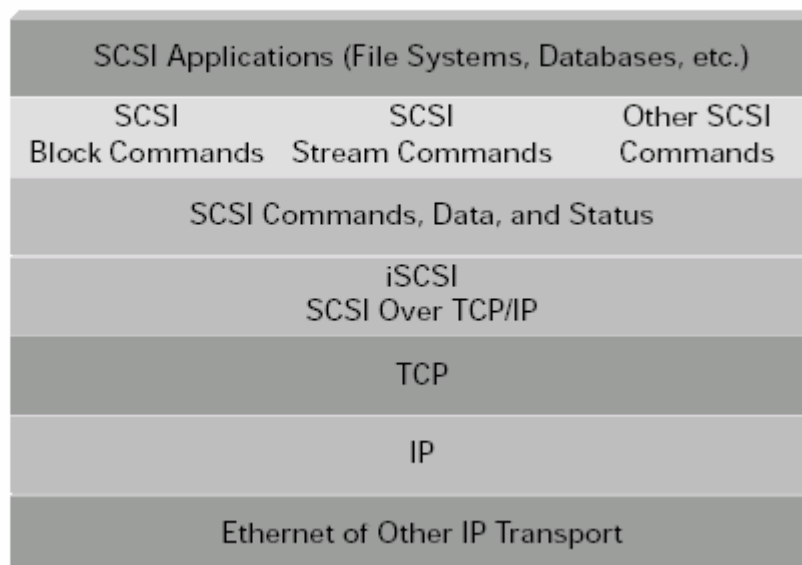
L'approche initiale de Cisco Systems se situe dans le courant de l'année 2000, avec le rachat de la société NuSpeed, qui travaillait au développement d'une passerelle d'encapsulation des flux de stockage SCSI sur IP, basé sur le protocole iSCSI. L'arrivée officielle de Cisco dans le secteur des Réseaux de Stockage s'est donc matérialisée par la commercialisation de la première passerelle iSCSI, le SN5420, au début de l'année 2001. Si le discours à l'époque assurait essentiellement la promotion du protocole iSCSI car seule offre commerciale disponible, Cisco travaillait déjà à la conception d'équipements de commutation Fibre Channel. Ces travaux se sont traduits par la mise sur la marché début 2002 d'un équipement de commutation Fibre Channel d'entrée de gamme, le SN5428, puis surtout, par l'annonce et la commercialisation de commutateurs modulaires et Directeurs Fibre Channel de grande capacité, la gamme MDS9000. Cette gamme est composée de plusieurs équipements de commutation Fibre Channel pur, pouvant recevoir éventuellement de la connectique Gigabit Ethernet pour le transport des protocoles iSCSI et FCIP. Le positionnement de ces deux protocoles par rapport au protocole Fibre Channel est détaillé dans ce document.

## Les similitudes de Fibre Channel et Gigabit Ethernet

Les ingénieurs de l'IEEE sont des personnes pragmatiques. Lorsqu'ils décidèrent de travailler au successeur de FastEthernet, ils s'inspirèrent largement des travaux du comité T11 de l'ANSI sur Fibre Channel. C'est ainsi que les couches physiques basses de Gigabit Ethernet sont rigoureusement identiques, à la vitesse d'horloge près, aux couches physiques FC-0 et FC-1 de Fibre Channel. Au niveau FC-0, les fibres optiques multimode 50 ou 62,5 µm et monomode à 9 µm sont les mêmes, les GBIC aussi. Au niveau FC-1, l'encodage 8bit/10bit est aussi rigoureusement identique. Seule la vitesse d'horloge diffère. En Fibre Channel 1 Gbps, l'horloge est de 1,062 GHz, ce qui donne 1 Gbps utile en enlevant l'overhead d'en-tête, soit 800 Mbps utile après encodage 8b/10b, correspondant bien au 100 MOctets/s attendu. En Gigabit Ethernet, l'horloge est à 1,25 GHz, afin d'obtenir 1 Gbps au niveau de la couche MAC, après encodage 8b/10b.

Les différences vont se situer sur les couches supérieures, FC-2 assurant l'essentiel des tâches en Fibre Channel, alors qu'elles sont très hiérarchisées en IP / Ethernet, avec le tramage en Ethernet, le routage en IP et le contrôle de flux et la fiabilité des échanges assurés par TCP. Ces couches s'imbriquent les unes sur les autres selon le schéma ci-dessous :

iSCSI Protocol Model





Il est intéressant de préciser que les ingénieurs de l'ANSI font preuve du même pragmatisme que ceux de l'IEEE car les développements en cours sur la technologie 10 Giga Fibre Channel natif reprennent les couches basses de la technologie 10 Gigabit Ethernet, standardisée en 2002.

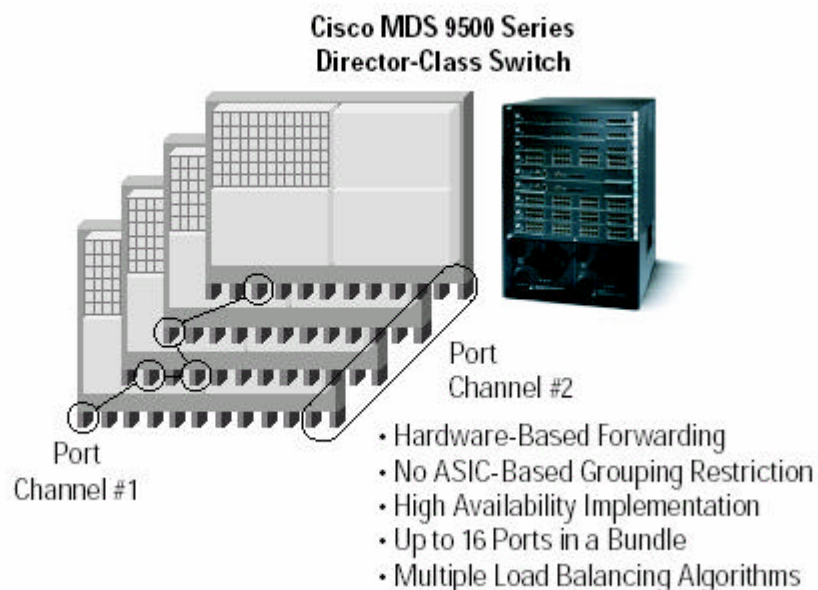
## L'expertise de Cisco Systems appliquée à la commutation Fibre Channel

Comme vu précédemment, une trame Fibre Channel est très proche d'une trame Gigabit Ethernet. Pour Cisco, développer des ASIC de commutation Fibre Channel est tout à fait possible à partir du moment où nous maîtrisons parfaitement la commutation Ethernet. C'est une des raisons majeures pour laquelle Cisco considère les équipements pour Réseaux de Stockage comme faisant partie de son cœur de métier, une autre étant évidemment l'intégration native de la connectique IP. La pérennité d'un investissement en MDS9000 s'en trouve renforcée d'autant.

Mais au-delà des ASIC de commutation, il y a les différents services à fournir pour le déploiement du Réseau de Stockage. Là encore, les similitudes avec les services nécessaires aux réseaux IP / Ethernet sont nombreuses :

- *Routage FSPF* : le protocole de routage Fabric Shortest Path First des réseaux Fibre Channel est une copie conforme du protocole de routage Open Shortest Path First des réseaux IP. Le même algorithme de Dijkstra est utilisé dans les deux cas. La topologie Fibre Channel, communément appelée Fabrique, correspond à la backbone area d'OSPF. D'un point de vue routage, la Fabrique Fibre Channel correspond à la topologie la plus simple en protocole OSPF.
- *Agrégation de liens* : l'agrégation de liens Gigabit Ethernet de type EtherChannel est disponible sur les équipements de commutation Ethernet Cisco depuis de nombreuses années, ce qui a grandement facilité le développement du mécanisme PortChannel d'agrégation de lien Fibre Channel sur la gamme MDS9000. C'est le seul mécanisme d'agrégation hardware disponible sur le marché, capable d'agréger jusqu'à 16 liens de 2 Gbps, situés sur des cartes lignes différentes. Dans ce cas, le protocole de routage FSPF ne « voit » qu'un seul lien logique de 32Gbps. Le MDS9000 met en œuvre d'autres mécanismes de répartition de charge sur plusieurs liens, mais ils sont basés sur les chemins multiples FSPF et font donc appel au traitement FSPF.

Port Channeling in the Cisco MDS 9500 Series





- *Protection en hardware par Liste de Contrôle d'accès (ACL)* : les mémoires TCAM avec lookup sur plusieurs milliers d'entrées sans impact sur les performances sont parfaitement maîtrisées par Cisco en commutation Gigabit Ethernet. Ces recherches vont s'effectuer de la même façon en commutation Fibre Channel, à la position des champs dans les en-têtes près. Ces ACL vont garantir le respect des définitions de Zones Fibre Channel. Le nombre d'entrées extrêmement élevé, jusqu'à 32000 dans une ACL de la gamme MDS9000, va permettre de proposer des mécanismes uniques sur le marché, comme le Zoning par LUN.
- *Capacité importante en Buffer Credit* : les mémoires tampons de grande capacité insérées dans les ASIC des cartes lignes sont très largement utilisées par Cisco en commutation Gigabit Ethernet. Cette expertise nous permet d'offrir les capacités en Buffer Credit les plus élevées du marché, avec 255 Buffer Credit par port, sur chacun des ports des modules 16-ports Fibre Channel.
- *Partitionnement logique en VSAN* : ce mécanisme est basé sur l'insertion d'un label dans l'en-tête de trame Fibre Channel et sur la mise en place d'un jeu complet de processus Fibre Channel dédié à chaque partition logique. L'imposition de label est une technique classique chez Cisco, principal artisan de la mise au point et du déploiement massif du protocole MPLS chez tous les grands Opérateurs Télécom MPLS est basé sur cette imposition de label, de façon transparente pour les ressources périphériques et sans impact sur les performances. La mise en place de processus dédiés dans chaque partition logique est aussi une caractéristique du protocole MPLS, avec les VRF. Ce mécanisme de partitionnement logique est détaillé dans le chapitre suivant.
- *Routage entre Fabrique* : le routage est l'expertise historique de Cisco. La gamme MDS9000 est capable de router entre VSAN adjacents sur un équipement Fibre Channel. Ce routage est équivalent à la commutation L3 en IP, avec les Forwarding Information Base (FIB) distribuées dans les cartes lignes. Les tables de « Forwarding » sont basées sur des entrées de type FCID + VSAN ID. La gamme MDS9000 est aussi capable de router entre des Fabriques distantes, en utilisant des VSAN de transit, soit en Fibre Channel natif, soit en Fibre Channel sur IP (FCIP). Ces fonctions de routage sont détaillées dans le chapitre suivant.
- *Sécurité d'administration* : les différents protocoles utilisés pour administrer le Réseau de Stockage doivent demander une authentification forte des administrateurs et garantir la confidentialité des flux d'administration. Cisco est un des principaux acteurs dans le domaine de la sécurité des réseaux informatiques et la gamme MDS9000 bénéficie de l'expertise acquise depuis de longues années. Quel que soit le protocole utilisé, les plus hauts niveaux de sécurité sont assurés, à savoir authentification, intégrité et confidentialité. Le chiffrement est garanti non seulement sur le mot de passe lors de l'authentification de l'administrateur, mais ensuite sur la totalité des flux d'administration. Cette sécurité est apportée par SSHv2 en accès ligne de commande, par SNMPv3 pour l'outil graphique ou la remontée des MIB, par SSL pour le protocole SMI-S du SNIA, ou par SCP ou SFTP pour les copies de fichier. Les règles de sécurité peuvent être centralisées sur des serveurs spécialisés de type RADIUS ou TACACS+.
- *Sécurité des ressources et du Réseau de Stockage* : exemple type de la reprise de solutions ayant fait leurs preuves dans les réseaux classiques, le protocole Fibre Channel Security Protocol (FC-SP), en cours de standardisation à l'ANSI, est très largement inspiré des architectures PKI et du protocole IPSec ESP du monde IP, dont Cisco a une maîtrise parfaite. Le but du protocole FC-SP est de fournir une solution de sécurité globale au niveau de la fabrique. FC-SP est supporté aujourd'hui par la gamme MDS9000 dans sa phase d'authentification des ressources. FC-SP utilise l'algorithme Diffie-Hellman pour la génération de clés secrètes, tout comme IPSec. Le chiffrement des flux Fibre Channel (équivalent ESP) via ces clés secrètes au débit nominal de 2 Gbps sera possible avec une nouvelle génération d'ASIC attendue pour 2005.



## Zones, partitions logiques et routage inter-Fabriques

Une Fabrique est déterminée par l'ensemble des ressources Fibre Channel géré par un jeu de processus Fibre Channel commun. Les ressources comprennent serveurs et périphériques de stockage ainsi que les nœuds de commutation FC. Les processus Fibre Channel sont, entre autres, le serveur de nom, le serveur de Zones ou le routage FSPF. Le Zoning est le mécanisme d'isolation des ressources au sein d'une Fabrique. Il fonctionne en conjonction avec le serveur de nom. De façon générale, lorsqu'une ressource effectue ses phases d'enregistrement dans la Fabrique (FLOGI, etc.), elle fournit son WWPN et récupère un FCID alloué par le serveur de nom et qui sera utilisé pour commuter les trames FC au sein du réseau. Cette ressource va également récupérer, auprès du serveur de zones, les adresses des autres ressources auxquelles elle a l'autorisation d'accéder.

Cette mise en œuvre est appelée Soft Zoning. Elle peut être sécurisée par du Hard Zoning, par lequel le commutateur FC va restreindre les possibilités d'accès uniquement entre les interfaces du commutateur sur lesquelles sont connectées les ressources d'une zone donnée. Le problème est que en cas de déplacement d'une ressource sur une autre interface du commutateur, il faut reprendre la configuration de la zone. La méthode de sécurisation la plus pratique est donc basée sur les ACL. Lorsque la zone est activée, une ACL basée sur les FCID des ressources de la zone est placée sur les ASIC en entrée des cartes lignes FC. Il sera ainsi impossible d'accéder à une ressource non autorisée, même par apprentissage du FCID de la ressource destination, car la trame sera immédiatement détruite dès son passage dans l'ACL. Le MDS9000 supporte le Soft Zoning, le Hard Zoning et les ACL de sécurisation systématiques avec 32 000 entrées possibles par ACL.

Du fait que le périmètre d'intervention des processus FC correspond à l'ensemble de la Fabrique, il peut être nécessaire de bâtir plusieurs Fabriques afin d'isoler les processus entre eux. Un environnement de développement va nécessiter des interventions fréquentes sur les configurations de zones, avec le risque d'impacter la production informatique si les ressources des deux environnements font partie d'une même Fabrique. Il convient dans ce cas de déployer deux Fabriques distinctes. Cela est possible avec des commutateurs différents, faisant partie d'îlots SAN physiquement distincts, sans possibilité d'utiliser des ports disponibles d'une Fabrique sur l'autre Fabrique où ils seraient nécessaires. L'autre possibilité est de déployer les deux Fabriques sur le même commutateur FC et de tourner un jeu des processus FC dédié dans chaque Fabrique. C'est le mécanisme de partitionnement logique mis en œuvre par le MDS9000 via la fonction de VSAN.

La mise en œuvre du partitionnement logique en VSAN s'effectue par l'imposition d'un label ou tag sur l'en-tête de trame FC au moment où celle-ci rentre dans le premier MDS9000 du réseau SAN. Ce champ additionnel dans l'en-tête de chaque trame FC va contenir, entre autres informations, l'identification du VSAN auquel appartient cette trame. Cette information sera utilisée tout au long du cheminement de la trame dans le réseau de stockage et sera retirée au niveau du dernier commutateur, afin de restituer une trame standard au serveur ou périphérique de stockage. Il est intéressant de noter que **ce mécanisme de partitionnement logique de type VSAN est en cours de standardisation et est inclus dans le draft de la version 2 du standard FC-FS du comité T11 de l'ANSI**. Dans ce draft, un champ de 8 octets est ajouté à l'en-tête de trame. C'est le Virtual\_Fabric\_Tag\_Header qui définit l'appartenance de la trame à un Fabric Virtuel via le VF\_ID sur 12 bits. Ce VFT\_Header comprend aussi 3 bits de QoS pour la priorisation des flux au sein du réseau.

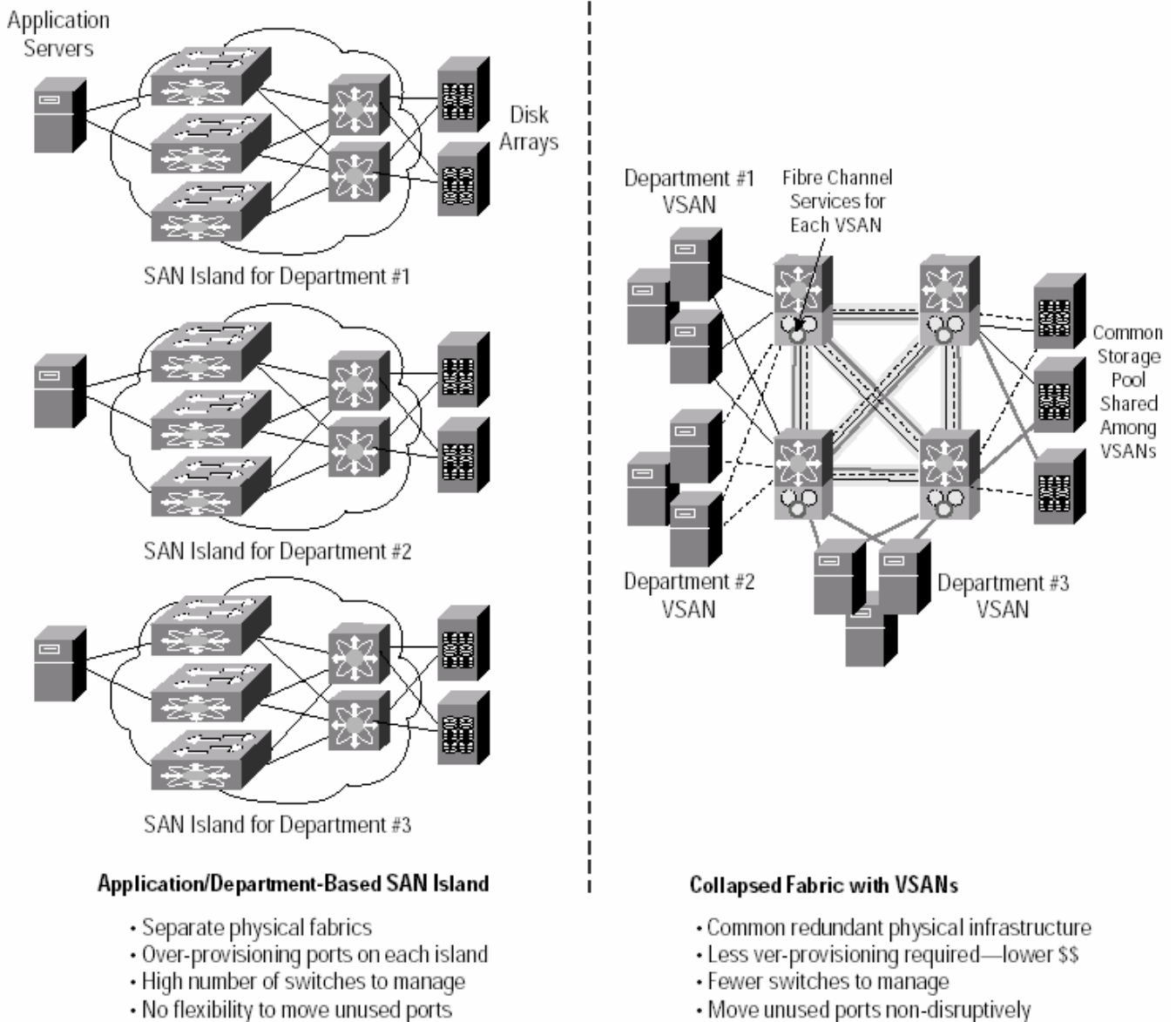
Description du champ étendu VFT\_Header :

Table 38 - VFT\_Header Format

Bits Word	31 .. 24	23	22	21 .. 18	17	16	15..13	12 .. 01	0
0	R_CTL	Ver	Type	R	R	Priority	VF_ID	R	
1	HopCt	Reserved							

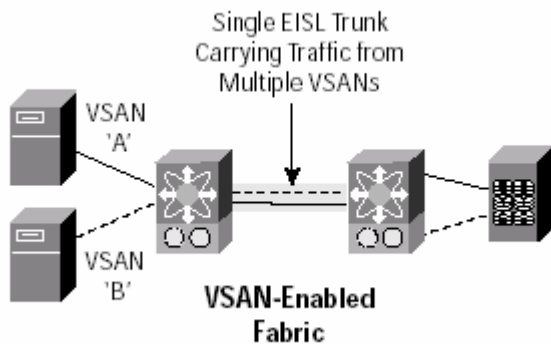


La mise en œuvre du partitionnement logique dans le MDS9000 est rigoureusement identique au format de l'en-tête étendu ci-dessus. La taille, la position et la signification des champs dans cet en-tête étendu correspond exactement à la mise en œuvre effectuée par le MDS9000 de Cisco. Nos équipements de commutation Fibre Channel disposent donc d'un mécanisme de partitionnement logique de l'infrastructure physique parfaitement standardisé.



Jusqu'à 250 VSAN peuvent être déployés sur une infrastructure mutualisée, chacun avec son propre jeu de processus FC. Ainsi, toute reconfiguration de zones dans l'environnement de développement ne pourra en aucune façon impacter la production informatique. Au niveau de l'interconnexion entre les commutateurs FC, les trames des différents VSAN seront transportées via des liens E-ISL également mutualisés.





Avec la complexification des environnements et la multiplication des ressources, il peut être nécessaire de router entre Fabriques. Dans le cas où plusieurs environnements de production veulent accéder à des ressources de sauvegarde communes, ces ressources de sauvegarde vont être regroupées dans une Fabrique dédiée avec routage vers les Fabriques de production pour le partage des ressources de sauvegarde.

Avec des commutateurs FC classiques, le routage s'effectuera via un nœud de routage externe, disposant d'au moins un lien ISL vers chaque Fabrique devant être routée. Le dispositif s'accompagne donc de l'ajout d'équipement d'interconnexion, ainsi que de liens dédiés sur chaque Fabrique. La fiabilisation de l'infrastructure va nécessiter le doublement des nœuds de routage ainsi que des liens vers chaque Fabriques. Le nombre d'éléments à administrer va augmenter et le réseau se complexifier de façon proportionnelle.

Avec des commutateurs capables de supporter le partitionnement logique comme les MDS9000, les différentes Fabriques peuvent être définies sur un commutateur commun, et le routage s'effectuera via le fond de panier du commutateur. Dans ce cas, il n'y a pas d'ajout d'élément externe, ni de gaspillage de liens ISL entre ce routeur et les commutateurs dédiés à chaque Fabrique. Cette fonction est disponible sur les MDS9000 via le mécanisme de routage inter-VSAN (IVR).

## Complémentarité des protocoles Fibre Channel et SCSI sur IP

Cisco propose une offre de commutation Fibre Channel dotée de différenciateurs forts comme décrit précédemment. Si Fibre Channel est confirmé comme étant la technologie indispensable pour déployer un Réseau de Stockage, Cisco Systems dispose d'une offre complète pour adresser les attentes des grands centres informatiques sur leurs projets de mutualisation de l'espace disque et de consolidation des infrastructures SAN. Le mécanisme le plus représentatif est le VSAN, très décrié à l'origine, mais validé depuis par les annonces équivalentes chez l'ensemble des acteurs du marché.

Mais Cisco peut également proposer une offre de transport de SCSI sur IP, basée sur le savoir-faire acquis en tant que co-développeur du protocole avec IBM. La gamme MDS9000 peut recevoir en natif des modules en connectique Gigabit Ethernet pour assurer la fonction de passerelle iSCSI. C'est la seule offre de type Directeur Fibre Channel capable d'intégrer les deux protocoles en natif, disponible aujourd'hui sur le marché. Le MDS9000 supporte l'intégration de iSCSI avec Fibre Channel depuis début 2003 et cette offre est complètement mature aujourd'hui. Il faut noter que si la mise à disposition du protocole iSCSI en natif fut jugée tout aussi négative lors de son annonce par Cisco, plus personne ne conteste son intérêt aujourd'hui et tous les acteurs du Stockage et des Réseaux de Stockage ont annoncé la prise en compte de ce protocole à plus ou moins longue échéance dans leur offre.

Pour un Réseau de Stockage, le choix initial réside dans la méthode d'accès, mode fichier ou mode bloc. Lorsque le choix est fait pour la méthode d'accès en mode bloc via SCSI, le média de transport utilisé doit être le plus approprié aux contraintes de topologie, d'existant, de bande passante requise, de compatibilité entre les divers composants, le tout dans le respect de l'enveloppe budgétaire. L'approche Cisco est de toujours proposer une solution garantissant le transport des flux SCSI de bout en bout, via le média le plus approprié en fonction des requêtes et contraintes propres à l'utilisateur final.



On s'aperçoit que les protocoles Fibre Channel et iSCSI sont complémentaires pour le transport de SCSI, comme cela va être décrit juste après. C'est la vision de Cisco Systems à l'heure actuelle et c'est la raison pour laquelle nous avons développé le support de ces deux médias de transport. Rien ne permet de déclarer aujourd'hui que l'un prendra le pas sur l'autre dans les années à venir. Mais si tel est le cas, Cisco Systems sera toujours présent dans les Réseaux de Stockage, quel qu'en soit le protocole, car ils sont tous les deux présents dans notre offre produit. Notre vision est que iSCSI et Fibre Channel ne sont en aucune façon concurrents, mais au contraire parfaitement complémentaires et qu'un acteur dont la stratégie principale est de proposer des solutions de bout en bout, se doit de maîtriser ces deux protocoles.

Car au final, si une technologie doit prendre le pas sur l'autre, c'est bien l'utilisateur qui décidera de laquelle. Il décidera en fonction de l'adéquation entre les possibilités de cette technologie, de sa facilité de déploiement, d'administration et d'évolution, le tout corrélé avec ses besoins propres et les contraintes de son budget d'investissement. En aucun cas, un industriel fournisseur tel que Cisco Systems ne décidera de la technologie qui s'imposera.

Ce positionnement est d'ailleurs parfaitement logique pour qui connaît l'approche métier habituelle de Cisco. Au début des années 1990 sur le LAN, le débat faisait rage entre les protocoles Ethernet et Token Ring. Cisco Systems, champion de l'Ethernet, a néanmoins développé une gamme de commutateurs Token Ring pour être présent quel que soit le choix des utilisateurs finaux. Et ils ont choisi Ethernet. Les mêmes expériences ont été renouvelées avec des protocoles comme ATM, SNA, IPX, etc. Dans tous les cas, Cisco a développé la technologie qu'il ne possédait pas, afin de toujours disposer de l'offre la plus complète possible pour répondre aux attentes des utilisateurs. La même approche s'appliquera aux futurs protocoles. On entend régulièrement parler dans la communauté Stockage du Fibre Channel 4 Gbps, ou de InfiniBand. Cisco est à l'écoute du marché sur ces deux protocoles et lorsque la demande se précisera, Cisco développera.

## **SAN mixte – Caractéristiques comparées**

Un Réseau de Stockage de type SAN - méthode d'accès bloc – doit assurer le transport du protocole SCSI de bout en bout. Fibre Channel et IP sont les deux médias de transport possibles pour la mise en place du Réseau de Stockage. Leurs caractéristiques majeures sont résumées ci-après :

Pour Fibre Channel :

- Connectique optique via interface HBA dédié sur les serveurs. Les HBA sont disponibles pour pratiquement la totalité des serveurs et systèmes d'exploitation (hors Mainframe et connectique FICON).
- Connectique optique sur les périphériques de stockage et sauvegarde, disponibles chez la totalité des fournisseurs.
- Débit de 1 ou 2 Gbps nominal dans le réseau Fibre Channel. Le 10 Gbps et le 4 Gbps Fibre Channel sont en gestation. Ils font l'objet d'un paragraphe en fin de document.
- Traitement protocolaire Fibre Channel intégré dans le HBA. Aucune charge additionnelle sur le processeur du serveur.

Pour IP :

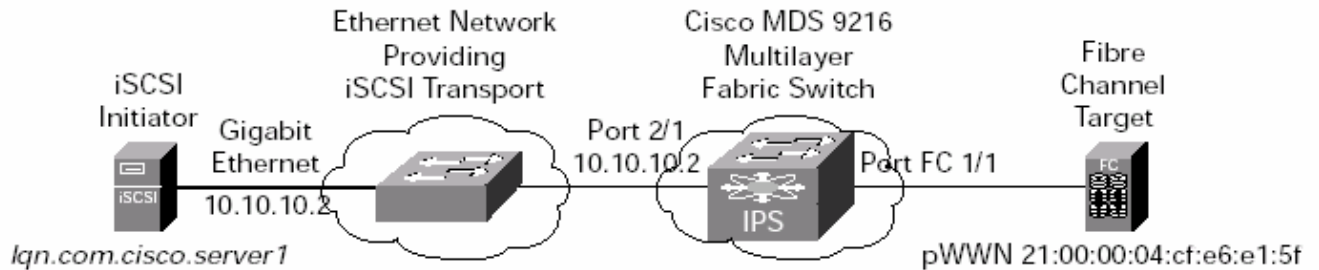
- Connectique cuivre 10, 100 et 1000 Mbps standard sur les serveurs, ou connectique optique 1 Gbps.
- Connectique iSCSI spécifique sur certains périphériques, annoncée sur la plupart.
- Pour les périphériques Fibre Channel natif, passerelle SCSI sur IP intégrée au sein du Réseau de Stockage.
- Débit de 10, 100, 1000 ou 10000 (10 Gbps) dans le réseau Ethernet. Le 40 Gbps est en gestation.
- Les traitements protocolaires IP et TCP, ainsi que l'encapsulation iSCSI sont la charge du processeur du serveur.





La connexion simple entre un serveur iSCSI relié au réseau Ethernet et un périphérique de stockage sur le réseau FC est présentée ci-dessous :

iSCSI Sample Configuration



Les quatre objections majeures adressées à l'encontre du protocole iSCSI lors de son lancement étaient les suivantes :

- Ⓜ Manque de standardisation,
- Ⓜ Drivers spécifiques fournis principalement par Cisco,
- Ⓜ Charge supplémentaire sur le processeur du serveur et
- Ⓜ Performance par rapport à Fibre Channel.

La première objection n'a plus lieu d'être. Le protocole d'encapsulation de SCSI sur IP (iSCSI) a été ratifié par l'IETF le 11 Février 2003. iSCSI est maintenant un standard.

La deuxième objection est maintenant adressée par l'intégration en natif des drivers iSCSI dans les systèmes d'exploitation.

Les drivers pour les différentes versions de Windows sont disponibles sur le site Microsoft. Ils sont pris en compte par le support après-vente de Microsoft. La stratégie Microsoft par rapport à iSCSI est très claire, avec des développements importants pour une intégration complète de ce protocole dans les différents Windows. Par exemple, les mécanismes MPIO pour le MultiPathing et CVS pour la découverte et gestion de la topologie, vont fonctionner de façon banalisée aussi bien avec Fibre Channel qu'avec iSCSI.

Les drivers Linux sont disponibles pour les différentes moutures de Linux. A noter qu'il existe des paramètres d'optimisation de la pile IP dans Linux qui rend le protocole iSCSI particulièrement efficace sur ce système d'exploitation. Le driver iSCSI sera intégré et supporté par IBM dans une version de maintenance de AIX 5.2 attendue en Avril 2004. Chez HP, il s'agit d'une version de HP-UX 11.i. Il existe également les versions pour NetWare. Enfin, SUN est également en train d'intégrer le driver iSCSI pour une version ultérieure de Solaris.

Ceci étant dit, les déploiements actuels montrent que le protocole iSCSI est prioritairement utilisé sur plates-formes Wintel et Linux, pour lesquelles les drivers iSCSI sont disponibles et supportés.

Les deux dernières objections sont traitées dans le chapitre suivant.

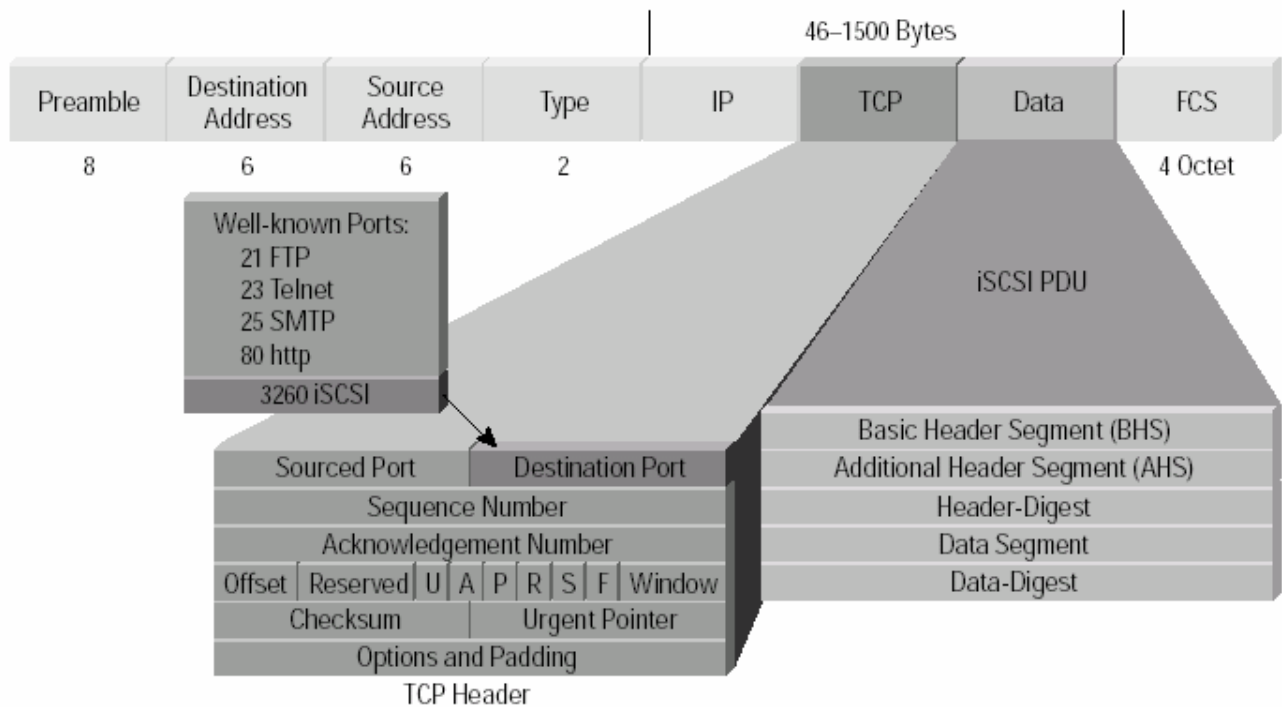
## **SAN mixte - Positionnement technique et financier**

Dans un premier temps, le bénéfice recherché par l'utilisation de iSCSI vs Fibre Channel sera essentiellement économique et nous allons évaluer dans quels cas un serveur est éligible à iSCSI ou à Fibre Channel.



L'utilisation de iSCSI sera basée sur le réseau IP / Ethernet existant en faisant l'économie de l'interface HBA, obligatoire en Fibre Channel. La contrepartie est que le traitement protocolaire induit va alourdir la charge sur le processeur du serveur et donc, potentiellement annuler le bénéfice financier. Une solution est d'utiliser des cartes Ethernet spécifiques – TOE pour TCP/IP Offload Engine – mais ces cartes vont être plus chères que la connectique Ethernet classique et vont ajouter un élément additionnel dans la chaîne des composants du transport. Il faut donc trouver le seuil de bande passante en dessous duquel iSCSI devient rentable. Mais comparée à l'époque du lancement du protocole SCSI sur IP il y a 3 ans, le facteur déterminant est l'explosion des puissances des processeurs et ce qui était vrai il y a trois ans – charge induite sur le processeur trop souvent prohibitive – ne l'est plus aujourd'hui. Le format d'un paquet iSCSI est le suivant :

iSCSI Packet Format



Règle de base : pour remplir un tuyau de 1 Gigabit Ethernet – soit 1 Gbps – il faut environ 2 GHz d'horloge processeur. Aujourd'hui les processeurs à 2,4 ; 2,8 ou 3,2 GHz sont très répandus. Ainsi, en théorie, sur un bi-pro à 2,8 GHz, 100 % de charge du lien Gigabit Ethernet vont utiliser 40 % de charge processeur cumulée. Pour 20 MOctets/s – environ 20 % de charge sur le lien – le serveur va utiliser 8 % de charge moyenne sur ses deux processeurs.

Dans un réseau SAN, il y a ventilation entre le nombre d'interfaces sur les baies de stockage et les serveurs applicatifs. Le Gartner Group annonce un ratio moyen de 1 pour 7. Ainsi, pour saturer une interface baie de stockage à 200 MOctets/s, il faut environ 7 interfaces serveurs. La charge moyenne au niveau d'un HBA est donc d'environ 30 MOctets/s. Cette valeur est une moyenne, ce qui veut dire que certains serveurs utiliseront beaucoup plus, mais de nombreux serveurs beaucoup moins et ce sont ces serveurs qui seront éligibles au protocole SCSI sur IP.

En plus du débit, il faut également évaluer le temps de réponse, plus ou moins critique en fonction de l'application. Le maquetage reste le meilleur moyen de vérifier le comportement de l'applicatif en fonction du média utilisé, à cause des difficultés liées au nombre important de paramètres influant, à savoir la capacité des processeurs, le type d'OS, l'applicatif, le profil d'accès aux données – lecture ou écriture - etc. Une recommandation générale sera de considérer les serveurs transactionnels, UNIX, demandant plusieurs dizaines de MOctets/s, comme éligible à la connectique Fibre Channel, alors que tous les autres serveurs applicatifs ou stations de travail, plutôt Windows et Linux, seront éligibles à la connectique Ethernet pour iSCSI.



En réalité, l'impact réel sur le temps de réponse va être fortement minimisé du fait que la technologie a beaucoup évolué sur ce point. Alors que les premières passerelles effectuaient l'encapsulation SCSI sur IP par processeur, les traitements TCP et IP sont maintenant réalisés par ASIC spécialisés au niveau des passerelles d'encapsulation.

Le positionnement technique étant décrit, il faut évaluer les coûts. Deux postes budgétaires sont à considérer, coût de la passerelle dans le réseau et coût de la connectique côté serveur. Au niveau du Réseau, le module IPS-8 de la gamme MDS de Cisco coûte environ 20 % plus cher qu'une carte ligne 32-ports Fibre Channel. Le seuil de basculement est donc d'environ 40 serveurs sur un module IPS-8. Ce module comprend 8 interfaces Gigabit Ethernet, capables de soutenir chacune environ 120 MOctets/s de flux SCSI. Ainsi, le débit moyen en dessous duquel le média SCSI sur IP devient rentable est de 24 MOctets/s par interface serveur. Sachant que le débit moyen aujourd'hui, tel que présenté par le Gartner, est d'environ 30 MOctets/s, on est très proche du seuil de rentabilité et de par la disparité des tailles de serveurs et donc de débit, le nombre de serveur éligibles au protocole iSCSI peut représenter une part significative des serveurs du centre informatique. Et si les débits sont moindres, la rentabilité augmente. Avec des débits de l'ordre de 12 MOctets/s, une solution iSCSI servira deux fois plus de serveurs, pour le même coût au niveau équipement réseau, que la solution Fibre Channel.

12 MOctets/s est une valeur critique car cela correspond au débit que peut soutenir une carte FastEthernet. En effet, l'économie la plus importante générée par l'utilisation du protocole iSCSI va se situer au niveau de la connectique du serveur. Chaque serveur, station de travail, PC, dans un centre informatique, possède une connectique Ethernet. Si elle est insuffisante pour accueillir le flux additionnel dû à iSCSI, il faudra en ajouter, mais la connectique utilisée sera en rapport avec le débit demandé. Et de la même façon que la puissance des processeurs est aujourd'hui largement suffisante pour traiter le protocole iSCSI sans augmentation prohibitive de la charge sur lesdits processeurs, la connectique Gigabit Ethernet cuivre est de plus en plus répandue, en natif, sur ces mêmes serveurs.

Le point critique ici est que le protocole iSCSI va utiliser la connectique appropriée, FastEthernet ou Gigabit Ethernet avec des multiples possibles de ces débits par les agrégations de liens, alors que le ticket d'entrée en connectique Fibre Channel est obligatoirement de 100 MOctets/s, voire 200 MOctets/s.

En résumé, avec les vitesses d'horloge et les connectiques Ethernet disponibles dans les serveurs aujourd'hui, le seuil d'économie sur les équipements réseaux va se situer aux alentours de 24 MOctets/s, sachant que le débit moyen est de 30 MOctets/s. Mais l'essentiel des gains d'investissement sera réalisé grâce aux économies de HBA sur les serveurs concernés.

## **SAN mixte – Méthodologie de mise en œuvre**

Le bénéfice attendu par l'intégration des protocoles iSCSI et Fibre Channel est une économie d'investissement et donc un ROI plus rapide sur le déploiement du Réseau de Stockage, comme décrit précédemment. Il faut maintenant évaluer les contraintes de déploiement et d'intégration d'un SAN mixte, ainsi que les problématiques éventuelles pour les équipes d'Exploitation / Production.

Le premier point à traiter concerne le niveau et la quantité de compétences nouvelles que devra acquérir l'équipe d'Exploitation.

A l'origine du protocole iSCSI, le mécanisme de fonctionnement des passerelles d'encapsulation de SCSI sur IP était de type « Proxy ». Dans ce mode, les ressources de stockage (LUN) n'ont pas la visibilité des serveurs iSCSI car la passerelle les masque via le mode Proxy. Ces ressources de stockage sont gérées par la passerelle et les diverses fonctions de sécurité, d'isolation, de mapping, etc. sont mis en œuvre via la passerelle par des mécanismes principalement IP. On peut dire qu'en mode « Proxy », la gestion du Réseau de Stockage est « IP-Centric ».

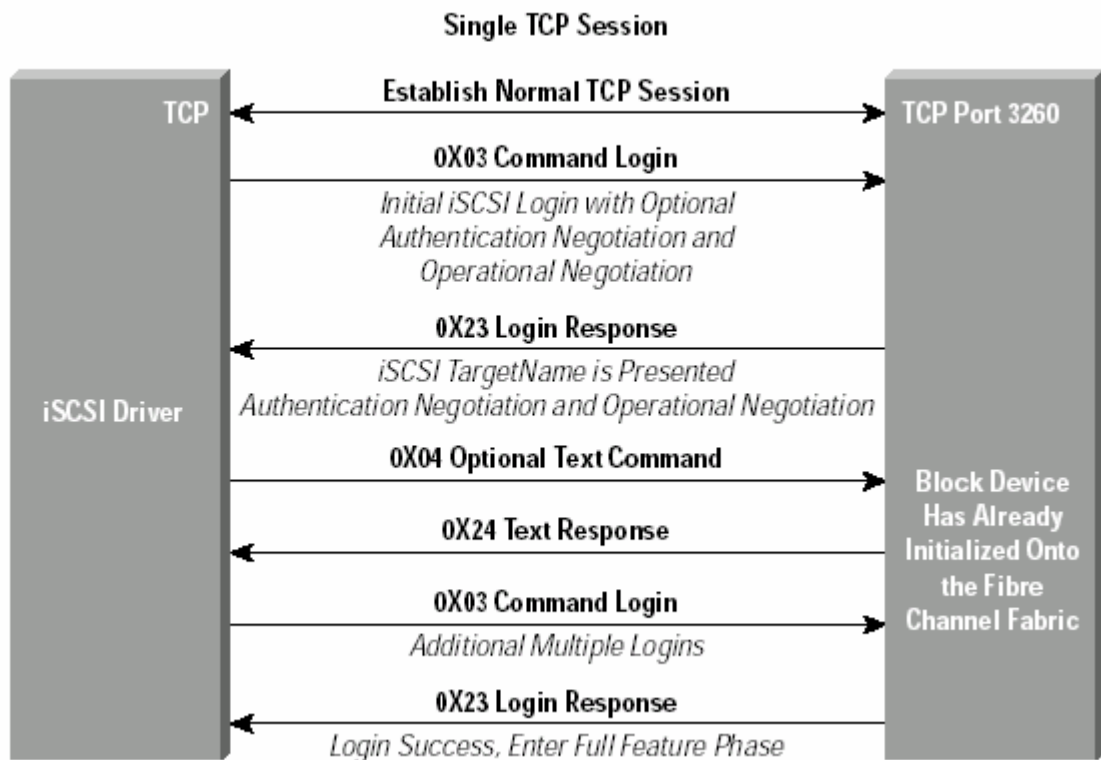


Si cette méthode de mise en œuvre d'un SAN mixte correspond bien aux petites structures, dans lesquelles on va retrouver une équipe réduite disposant de la double compétence Système et Réseau IP, elle n'est pas appropriée aux grands centres informatiques, dans lesquels les compétences sont réparties dans des équipes distinctes. Dans ces grands centres, c'est l'équipe d'Exploitation qui sera chargée des projets de Stockage. Cette équipe est composée d'experts Système maîtrisant parfaitement, entre autres, le protocole SCSI et son média de transport Fibre Channel, mais n'ayant pas vocation à développer une compétence IP, raison d'être des équipes réseaux.

Dans ce but, la gamme MDS9000 met en œuvre un mécanisme d'encapsulation de SCSI sur IP de type Transparent. En mode Transparent, un serveur iSCSI sera traité comme une ressource Fibre Channel. Le réseau IP est complètement masqué. Les serveurs sont banalisés et le gestionnaire du SAN mixte FC + IP voit apparaître les serveurs iSCSI de la même façon que les serveurs avec HBA et il pourra les administrer sans distinction, via les mécanismes pur Fibre Channel, comme le Zoning par WWPN ou le LUN Masking au niveau des baies de stockage. Ainsi, en mode Transparent, la gestion du Réseau de Stockage est « Fibre Channel-Centric », aucune compétence IP particulière n'étant requise pour le pilotage d'un Réseau de Stockage SAN mixte.

Le détail de la phase de connexion iSCSI est présenté dans le schéma ci-dessous :

iSCSI Login Packet Flow



Au niveau du MDS9000, le mode Transparent fonctionne de la façon suivante. Le driver iSCSI du serveur contient l'adresse IP de la passerelle d'encapsulation SCSI sur IP, accédée par une interface Gigabit Ethernet du module IPS-8 dans le MDS9000. Lors du démarrage du serveur, le driver va établir une session TCP avec la passerelle dans le MDS9000. Le driver va ensuite s'enregistrer comme Initiator iSCSI à la passerelle, via son adresse IP et son iSCSI Qualified Name (iQN). La passerelle va alors affecter un WWPN au serveur iSCSI. Ce WWPN est pris dans un pool de WWPN dédié à chaque interface Gigabit Ethernet du module IPS-8 du MDS9000. Il est possible de forcer un WWPN particulier à un serveur, ou d'effectuer l'affectation en dynamique, pour un maximum de 200 serveurs par interface Gigabit Ethernet. Ensuite, ce WWPN est affecté de façon définitive au serveur iSCSI, même en cas de reboot du serveur ou de la passerelle.



Une fois que le serveur iSCSI dispose d'un WWPN dédié, ce WWPN va être enregistré dans la Fabrique via les phases de FLOGI classiques. Ainsi, le serveur iSCSI va se présenter aux divers processus Fibre Channel, comme un serveur en attachement HBA classique, avec un WWPN. Il sera enregistré par le processus NameServer qui va lui retourner un FCID qui sera ensuite propagé à la base de données du serveur de noms dans tous les commutateurs FC de la Fabrique. Le serveur iSCSI sera « Zoné » comme un serveur HBA et le LUN Masking de la baie va lui affecter les volumes logiques voulus comme un serveur classique FC.

En conclusion, la caractéristique majeure du mode Transparent est qu'un serveur iSCSI se présente de la même façon qu'un serveur FC aux divers processus gérant la Fabrique. Il sera configuré et administré de la même façon, via les mêmes mécanismes pur Fibre Channel. Dans un SAN mixte, la ressource serveur est banalisée, sans distinction de la connectique réseau utilisée. La baie de stockage ne voit pas la différence entre un serveur pur FC et un serveur iSCSI.

### **SAN mixte – Prérequis de mise en œuvre**

Plusieurs points sont à considérer, mais aucun n'est bloquant. De très nombreuses options de mise en œuvre sont disponibles, tant au niveau IP que FC. Elles doivent être évaluées dans le contexte client.

Sur la partie pure réseau IP, plusieurs possibilités existent. Le flux iSCSI utilise le port TCP 3260 par défaut, mais un autre port peut être spécifié si celui-ci est déjà réservé par un applicatif particulier. Le flux iSCSI peut utiliser la même interface Ethernet que les autres flux IP ou il peut utiliser une interface dédiée. Dans ce cas, il peut être isolé dans un VLAN spécifique, sachant que l'interface Gigabit Ethernet du module IPS-8 supporte le marquage 802.1Q. Le flux iSCSI peut utiliser des chemins d'accès redondants au sein du réseau IP. La QoS du réseau IP peut parfaitement être appliquée au flux iSCSI, afin de lui garantir le niveau de service voulu. La haute disponibilité de la passerelle d'encapsulation SCSI sur IP peut être garantie via le mécanisme VRRP, réparti sur deux modules IPS-8 installés dans deux MDS9000 distincts.

Sur la partie pure FC, là aussi, la redondance des chemins d'accès peut être garantie. Certains mécanismes de « MultiPathing » des baies peuvent être utilisés de la même façon que sur un serveur en HBA, par exemple le logiciel DMP ou le logiciel PowerPath. Mais le MDS9000 dispose aussi de son propre mécanisme de haute disponibilité, la fonction Trespas, qui lui permet de basculer d'un MDS sur l'autre en cas de défaillance de l'interface primaire d'accès à un volume logique et de basculer sur l'interface secondaire. Le serveur iSCSI pourra être déclaré dans deux VSAN distincts, via son WWPN et bénéficier de la redondance des chemins d'accès et de la haute disponibilité apportée par une topologie Fibre Channel de type Dual Fabrics.

Enfin, au niveau de l'administration et du monitoring temps réel, les outils disponibles en standard dans la gamme MDS9000 savent parfaitement gérer un Réseau SAN mixte, en traitant les ressources iSCSI de la même façon que les ressources FC. La topologie du réseau mixte sera présentée avec une vision globale Fibre Channel, car le protocole d'encapsulation SCSI sur IP masque complètement le réseau IP sous-jacent, quelle que soit la topologie pure IP. Les serveurs iSCSI seront considérés comme en attachement direct sur le MDS9000 contenant la passerelle IPS-8, de la même façon que les serveurs avec HBA FC en attachement direct sur le MDS9000 contenant les modules 16 ou 32 ports FC sur lesquels ils sont connectés.

Le MDS9000 supporte les deux modes d'encapsulation, Proxy et Transparent.

### **Interconnexion de SAN distants – Protocole FCIP**

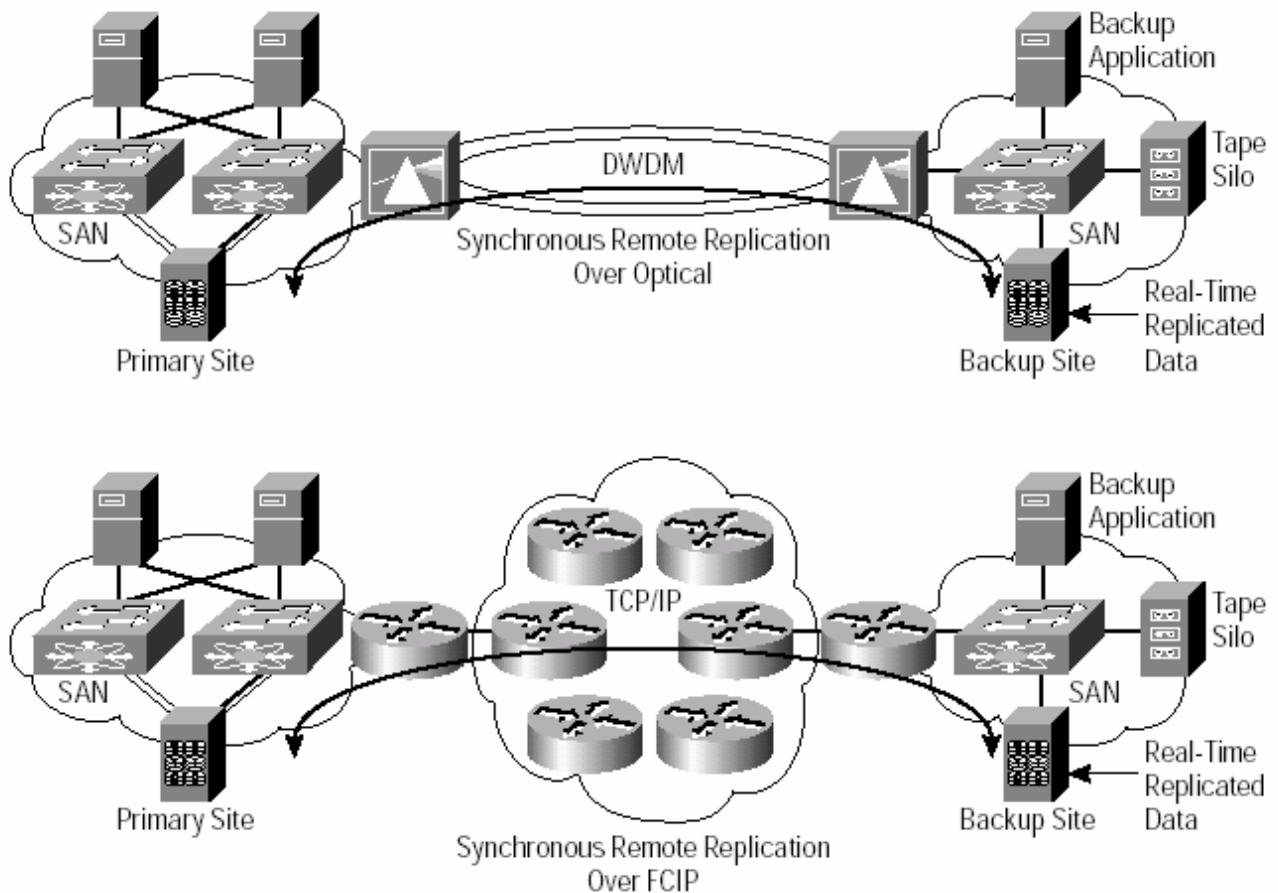
Un MDS9000 équipé du module IPS-8 permet de déployer un SAN mixte FC + IP et apporte également l'interconnexion de SAN distants via le protocole d'encapsulation des trames Fibre Channel dans IP, à savoir FCIP.



Ces deux protocoles d'encapsulation des flux de stockage dans IP adressent des besoins différents. iSCSI permet d'étendre le SAN FC par du SAN IP avec un investissement correspondant au besoin réel de débit sur chaque serveur. FCIP va relier des Réseaux de Stockage situés sur des centres informatiques distants, en utilisant le réseau WAN IP, soit parce que le coût d'une fibre de bout en bout est trop élevé, soit parce que l'on est au-delà des distances supportées par la fibre noire. Par exemple, FCIP est très largement utilisé par les mécanismes de réplication de baie à baie.

De la même façon qu'avec l'encapsulation iSCSI, c'est la simplicité qui va primer dans le cas d'interconnexion via FCIP. L'encapsulation Fibre Channel sur IP va complètement masquer le réseau WAN sous-jacent et quelle que soit la topologie du réseau IP en distance et nombre de nœuds IP traversés, le lien FCIP apparaît comme un simple lien ISL d'un point de vue du protocole de routage FSPF. Quelle que soit la distance entre les deux terminaisons du lien FCIP, les deux MDS9000 assurant l'encapsulation FCIP seront considérés comme adjacents par FSPF. Avec FCIP, il n'est pas nécessaire de recréer puis d'interpréter les services Fibre Channel au niveau du réseau IP, car toute la gestion se fait au niveau du réseau FC. Le lien FCIP se présente comme un simple lien ISL et est géré par les différents processus Fibre Channel de la même façon qu'un lien ISL FC.

Les deux schémas ci-dessous présentent les possibilités de réplication en utilisant FCIP ou via de la fibre noire, par multiplexage longueur d'ondes.



Divers mécanismes vont permettre d'optimiser la solution d'interconnexion. Il est possible d'agréger plusieurs liens FCIP dans un PortChannel présenté comme un seul lien logique à FSPF. L'encapsulation FCIP supporte la compression sur le lien WAN, ainsi que l'accélération des écritures. Le lien FCIP utilise un port TCP dédié (3225 par défaut) pour mettre en œuvre la QoS au sein du réseau IP et garantir un contrat de service défini pour les besoins précis de l'interconnexion. Enfin, la fenêtre TCP va s'ajuster de façon automatique en fonction des caractéristiques de distance et de débit disponible au niveau du lien WAN.





L'extension du protocole Fibre Channel via le réseau IP, aussi bien en iSCSI qu'en FCIP, est parfaitement intégrée avec les divers mécanismes réseaux supportés par la gamme MDS9000. Ainsi, le partitionnement logique et l'isolation des Fabriques en VSAN, couplé au routage Inter-VSAN via un ou plusieurs VSAN de transit en FCIP, apportent la sécurité d'exploitation au niveau de chaque centre informatique distant et la garantie qu'une perturbation sur un SAN, ne sera pas propagée via le lien FCIP vers les ressources FC du SAN distant. De la même façon, un évènement survenant au niveau du réseau WAN IP ne pourra en aucune façon être propagé vers les ressources serveurs, car les perturbations générées sont diffusées sous forme multidirectionnelle, alors que le routage Inter-VSAN utilisé entre les SAN distants et le VSAN de transit ne prend en compte que des flux unidirectionnels.

## **Evolutions futures – 4 et 10 Gigabit Fibre Channel, InfiniBand**

Les évolutions du protocole Fibre Channel, 4 et 10 Gbps, seront prises en compte par les produits de la gamme MDS9000. Cependant, ces deux technologies sont positionnées de façon légèrement différente et il convient de préciser la façon dont ils devraient être commercialisés.

Le 4 Gbps est perçu comme devant être l'évolution naturelle du 1 et du 2 Gbps. Bien que les serveurs n'aient pas forcément besoin de ce débit à court et moyen terme, car le débit moyen au niveau du HBA à l'heure actuelle est bien inférieur à ce débit, le 4 Gbps sera utilisé en premier lieu pour les interfaces baies de stockage et les liens ISL. Il devra être déployé sans remettre en cause l'existant et s'y intégrer de façon transparente. Il va donc se retrouver sous la forme d'interfaces « auto-sensing » 1, 2 et 4 Gbps. Sur la gamme MDS9000, de nouveaux modules apparaîtront avec des densités de ports variables, supportant les trois débits. Le câblage étant le même que celui utilisé en 1 et 2 Gbps, il faudra donc faire attention à la réduction de distance en fibre multimode pour soutenir le débit nominal de 4 Gbps. Outre la facilité de déploiement, une des clés du succès du 4 Gbps sera son coût d'acquisition qui devra être proche de la technologie 1 et 2 Gbps disponible aujourd'hui.

Le 10 Gbps est une technologie beaucoup plus performante, avec des contraintes plus importantes en terme de distance et de capacité des interfaces. Sa mise en œuvre sur les serveurs et périphériques ne semble pas d'actualité. Elle vise donc essentiellement les liaisons ISL, surtout dans les cas où la réduction du nombre de fibres optiques que la mise en place du 10 Gbps Fibre Channel permet d'envisager, apporte une économie substantielle. C'est le cas de lien fibre optique passant dans le domaine public, avec des frais de location élevés. Car la technologie 10 Gbps FC sera nettement plus onéreuse, en prix au port, que les technologies existantes 1 et 2 Gbps, ainsi que le futur 4 Gbps. Sur la gamme MDS9000, de nouveaux modules en connectique 10 Gbps FC seront commercialisés dans le futur. Ces modules pourront s'insérer dans les châssis existants et remplacer des agrégations de liens 2 Gbps, pour réduire par 5 le nombre de fibres optiques nécessaires en interconnexion ISL. La puissance de commutation des matrices cross-bar du MDS9000, ainsi que l'architecture modulaire des châssis, offrent aujourd'hui 80 Gbps de capacité par carte ligne en fond de panier. Ainsi, la gamme MDS9000 est déjà capable d'intégrer cette technologie 10 Gbps FC avec des débits potentiels extrêmement élevés.

InfiniBand est une technologie d'interconnexion très récente, disposant de performances extrêmement élevées, à destination des environnements de traitement très puissants comme le High Performance Computing (HPC). Cisco supervise de très près la maturation de cette technologie, ainsi que l'évolution de sa demande par les utilisateurs. Si InfiniBand devait se confirmer comme un des protocoles indispensables pour le centre informatique de demain, Cisco l'intégrerait dans sa gamme.



## Conclusions et perspectives

La disparité des capacités et besoins des serveurs et périphériques de stockage, la nécessité d'interconnecter les différents centres informatiques de l'entreprise entre eux via le réseau WAN, la mise en place d'un Plan de Reprise d'Activité approprié aux contraintes métier d'aujourd'hui, peuvent être adressés par le déploiement d'un Réseau de Stockage SAN mixte, intégrant les protocoles Fibre Channel et Ethernet/IP. Le protocole Fibre Channel est extrêmement bien adapté à l'heure actuelle pour les serveurs haut de gamme de type transactionnel. Le protocole SCSI sur IP va étendre le SAN Fibre Channel par du SAN sur IP pour l'ensemble des serveurs de moindre puissance, afin d'utiliser une connectique appropriée aux débits voulus. Enfin, l'intégration de FCIP dans les équipements de commutation Fibre Channel apporte l'interconnexion native des centres informatiques distants.

Cisco Systems dispose de l'expertise et de la capacité à concevoir, développer et commercialiser des équipements de commutation Ethernet ou Fibre Channel extrêmement performant avec une densité de port très élevée. Ces équipements disposent de mécanismes réseaux intelligents sensiblement équivalents, quel que soit le protocole réseau utilisé, conséquence directe des similitudes entre les technologies Ethernet et Fibre Channel, basées sur les mêmes couches basses. L'offre Cisco peut intégrer les deux technologies au sein d'un même équipement afin de proposer des solutions complètes, avec un coût d'acquisition correspondant au besoin de l'utilisateur final. Ce dernier va déployer une infrastructure Réseau de Stockage mixte, sans devoir faire un choix technologique entre l'un ou l'autre protocole, mais uniquement un choix dicté par ses propres besoins.

**Siège social Mondial**

Cisco Systems, Inc.  
170 West Tasman Drive  
San Jose, CA 95134-1706  
Etats-Unis  
www.cisco.com  
Tél. : 408 526-4000  
800 553 NETS (6387)  
Fax : 408 526-4100

**Siège social Européen**

Cisco Systems Europe  
11 rue Camilles Desmoulins  
92782 Issy Les Moulineaux  
Cédex 9  
France  
www-europe.cisco.com  
Tél. : 33 1 58 04 6000  
Fax : 31 1 58 04 6100

**Siège social Amérique**

Cisco Systems, Inc.  
170 West Tasman Drive  
San Jose, CA 95134-1706  
Etats-Unis  
www.cisco.com  
Tél. : 408 526-7660  
Fax : 408 527-0883

**Siège social Asie Pacifique**

Cisco Systems, Inc.  
Capital Tower  
168 Robinson Road  
#22-01 to #29-01  
Singapour 068912  
www.cisco.com  
Tél. : +65 317 7777  
Fax : +65 317 7799

**Cisco Systems possède plus de 200 bureaux dans les pays et les régions suivantes. Vous trouverez les adresses, les numéros de téléphone et de fax sur le site Web de Cisco à l'adresse suivante : [www.cisco.com/go/offices](http://www.cisco.com/go/offices)**

0 Afrique du Sud • Allemagne • Arabie saoudite • Argentine • Australie • Autriche • Belgique • Brésil • Bulgarie • Canada • Chili • Colombie • Corée • Costa Rica • Croatie • Danemark • Dubaï, Emirats arabes unis • Ecosse • Espagne • Etats-Unis • Finlande • France • Grèce • Hong Kong SAR • Hongrie • Inde • Indonésie • Irlande • Israël • Italie • Japon • Luxembourg • Malaisie • Mexique • Nouvelle Zélande • Norvège • Pays-Bas • Pérou • Philippines • Pologne • Portugal • Porto Rico • République tchèque • Roumanie • Royaume-Uni • République populaire de Chine • Russie • Singapour • Slovaquie • Slovénie • Suède • Suisse • Taiwan • Thaïlande • Turquie • Ukraine • Venezuela • Vietnam • Zimbabwe

0 Tous les contenus sont protégés par copyright © 1992 – 2003, Cisco Systems, Inc. Tous droits réservés. Catalyst, Cisco, Cisco IOS, Cisco Systems et le logo Cisco Systems sont des marques déposées de Cisco Systems, Inc ou de ses filiales aux Etats-Unis et dans certains autres pays.

Toutes les autres marques commerciales mentionnées dans ce document ou sur le site Web appartiennent à leurs propriétaires respectifs. L'utilisation du mot partenaire ne traduit pas une relation de partenariat d'entreprises entre Cisco et toute autre société.  
(0202R)