

Épreuve bibliographique tutorée

présentée et soutenue le 10 avril 2014 par
Cynthia LOPES DO SACRAMENTO

SDN : Software-Defined Networking

Réseau Informatique Défini par Logiciel

Jury : Romain KOBYLANSKI
 François MILLER
 Véronique PANNE

Tuteur : Claude CASERY
Entreprise : Bull

It is harder to crack a prejudice than an atom.
Albert EINSTEIN

Table des matières

Introduction	1
1. Problématique Réseau et SDN	3
1.1. Ossification d'internet face au besoin d'expansion	3
1.2. Management Réseau : Contraignant et Complexe	4
1.3. Un nouveau modèle réseau pour supporter ces évolutions	6
2. Réseaux programmables avec SDN	7
2.1. Séparation de l'intelligence (contrôle) de la commutation (flux de données)	7
2.2. Contrôle centralisé et hardware simplifié : l'intérêt de SDN	9
2.3. Choix d'implémentation pour des challenges (défis ?)	10
3. Des Applications de SDN et leurs possibilités	11
3.1. Data Center	12
3.2. Campus et grands réseaux	13
3.3. WAN	14
4. Solutions SDN disponibles	17
4.1. Un point sur la situation	17
4.2. Écosystème SDN HP, gamme de solutions virtualisées Data Center	19
4.3. Cisco ONE, hardware programmable	20
4.4. Virtualisation : Big Switch Controller et VMWare NSX	21
4.5. Brocade Ethernet Fabric, Fibre Channel support over Ethernet	21
4.6. Juniper MetaFabric Architecture	21
Conclusion	23
A. Première annexe	25
Bibliographie	27
Glossaire	33
Acronyms	35

Liste des tableaux

3.1. Opportunités et Challenges adressés par SDN [34] 11

4.1. Produits SDN et les principaux fournisseurs [46] 19

Table des figures

1.1. Pression croissante sur l'infrastructure réseau [16]	5
2.1. L'ensemble de l'Architecture Traditionnelle et SDN [15]	8
3.1. Raccordement réseau de deux Data Centers [37]	13
4.1. Architecture OpenFlow SDN par ONF [3]	18

Introduction

Software-Defined Networking : Réseau Informatique Défini par Logiciel (SDN) est un **paradigme** réseau conçu pour adapter les infrastructures courantes aux enjeux de la communication actuelle : haute bande passante et nature dynamique des applications. **SDN** propose une nouvelle architecture plus dynamique, facile à gérer, rentable et flexible. Cette architecture découpe le contrôle du réseau (**plan de contrôle**) des fonctions de transmission (**plan de données**). L'approche permet de rendre le contrôle directement programmable et l'infrastructure sous-jacente d'être abstraite aux applications réseaux et services. Le protocole déterminant les interfaces de communication entre le contrôleur et les switches est défini séparément, le plus populaire et standardisé étant **OpenFlow** . [1] [2] [3]

Internet a évolué de trois manières importantes dans les dix dernières années.

- Haut-débit : le contenu a évolué à partir de texte et pages web relativement statiques, pour progresser vers un contenu multimédia haut-débit exigeant une latence réduite.
- Expansion : l'utilisation s'est rapidement mondialisée ; par exemple le débit international servant l'Afrique a augmenté de 1.21Gbit/s en 2001 à 570.92Gbit/s en 2011 [4].
- Nouveaux médias : l'accès s'est étendu des ordinateurs de bureau à une variété de nouveaux dispositifs, comme pour les téléphones mobiles dont le trafic global des données a augmenté de 70% en 2012. [5].

Fait important : la rapidité d'une telle évolution technologique et son adoption sont sans précédent dans l'histoire de l'humanité. [4].

La capacité d'évolution pour s'adapter aux nouvelles exigences des usagers est récurrente dans l'histoire d'internet. En revanche, dans le scénario actuel on voit poindre de partout une croissance accélérée de l'accès, notamment dans les pays en développement, ainsi qu'une rapide augmentation de l'utilisation en général, engendrée par les contenus multimédias et les applications machine-à-machine. Par exemple, en moins de deux ans depuis la parution d'Instagram, plus de 50 millions de personnes ont partagé plus d'un milliard de photos. [6]. Dans ce contexte, la capacité d'internet de continuer à fournir l'infrastructure nécessaire tel qu'il est, est remise en cause. [7]

De nouvelles technologies et concepts émergent pour répondre aux nouveaux besoins des utilisateurs qui exigent de plus en plus du haut-débit et une latence réduite. Le **Big Data** a modifié le traitement des données pour permettre aux entreprises de gérer la quantité massive de données manipulées. [8] Le **cloud computing** et la **virtualisation** ont apporté une nouvelle approche pour le management et l'hébergement de ressources de **Technologie de l'Information (TI)** dans le but de les rendre plus agiles, plus efficaces, plus sécurisés et plus flexibles tout en réduisant les coûts. [9]. Pour accompagner

ces évolutions, une innovation technologique dans le domaine des réseaux informatiques est nécessaire. [10]

Les acteurs impliqués dans ce secteur se sont unis pour la conception et la proposition de **SDN**, en réponse à ces nouveaux besoins émergeant. Le présent document a donc pour but d'explorer cette solution et analyser les approches qui ont été faites dans ce domaine. Il propose un état de l'art des technologies parues pour déployer **SDN** ainsi que divers cas d'utilisation dont les enjeux seront présentés.

Le premier chapitre reprend la problématique et définit les pré-requis des réseaux modernes. Le deuxième chapitre redéfinit SDN, présente la architecture proposée et montre les enjeux de cette solution. Le troisième chapitre suggère quelques possibilités d'application et cas d'utilisation de SDN. Le quatrième dernier chapitre réalise un état de l'art de la technologie, présentant les solutions et produits proposés par les principaux fournisseurs du marché.

Chapitre 1.

Problématique Réseau et SDN

Ce chapitre reprend les problèmes réseaux rencontrés afin de définir les besoins actuels dans le domaine. Une liste de requis pour une architecture réseau idéalement adaptée aux applications actuelles est proposée.

1.1. Ossification d'internet face au besoin d'expansion

À vouloir autoriser et même encourager les utilisateurs à innover sur son architecture, internet s'est fait dépasser par son propre succès. La croissance explosive des utilisateurs, du trafic et des applications a apporté toute une série de problèmes, tant la saturation des adresses IPv4 disponibles que les menaces aux réseaux locaux privés.

En réponse à ces questions, des **middleboxes** ont été introduites dans l'architecture, par exemple les **Network Address Translation, Traduction d'adresse réseaux (NATs)** et les Firewalls, mais avec une contrainte : la complexité. Dans ces systèmes, le logiciel est capable d'atteindre n'importe quel objectif sous réserve de devenir excessivement complexe, fragile, incompréhensible et mal jugé. Parce que les coûts de la complexité ont été négligés lors de l'évolution d'internet, les applications en réseau ont été rendues difficiles à concevoir, à mettre en place et à maintenir. [11]

Internet est vu aujourd'hui comme une infrastructure critique de la société, tels que le transport et l'électricité. Cela provoque une résistance face aux tentatives de nouvelles applications en parallèle à celles en mode de production. Cette prise de conscience a convaincu la communauté de chercheurs réseau qu'un travail n'est utile que si ses résultats peuvent être facilement adoptés dans l'architecture existante. En essayant de travailler avec cette contrainte, les concepteurs ont réalisé que l'architecture courante rend la résolution de certains problèmes impossible. [12] [13]

Actuellement internet doit prendre en compte une énorme base d'équipements et de protocoles installée. Avec le système d'adressage IPv4 ce réseau peut interconnecter jusqu'à quatre milliards d'équipements. Capacité dont la limite est proche d'être atteinte, fait confirmé par le développement du protocole IPv6 qui a été conçu pour permettre d'augmenter l'espace d'adressage par centaines de milliards de fois. [14]

Les réseaux de communication des données consistent typiquement à des dispositifs utilisateurs finaux, d'hôtes inter-connectés à travers l'infrastructure du réseau. Cette infrastructure est partagée par les hôtes et elle emploie des éléments de commutation comme switches et routeurs ainsi que des liens de communication pour porter des données

entre les hôtes. Les routeurs et les switches sont souvent des systèmes "fermés", avec des limitations et des interfaces de contrôle spécifiques à leurs vendeurs. En raison de ces restrictions et des interfaces spécifiques à leurs vendeurs, il est assez difficile dans cette infrastructure courante de faire évoluer les protocoles et services existants (déployés en production) et encore plus difficile d'en mettre en place des nouveaux. Internet étant un réseau de réseaux est plus concerné par ce point. [15]

On se rend compte que l'adoption de nouvelles idées dans le domaine des réseaux reste complexe. Finalement, les ingénieurs comptent sur peu de moyens concrets pour tester de nouveaux protocoles réseau dans une configuration assez réaliste pour assurer et distribuer leurs déploiements. Par conséquent, la majorité des nouvelles idées émises dans le cadre de la recherche en "réseaux informatiques" finissent sans essai et sans test. Ce frein à l'évolution face aux besoins d'expansion des utilisateurs actuels confirme la croyance répandue que l'infrastructure réseau "est en phase d'ossification". [12]

1.2. Management Réseau : Contraignant et Complexe

Cette résistance à l'innovation est contradictoire avec la rapide croissance d'internet qui impose une expansion de l'architecture réseau. Le besoin pour des services réseau et pour haut-débit augmente à un taux plus rapide que la disponibilité ou les revenus, comme on peut le visualiser dans la figure 1.1.

Plus une entreprise dépend d'un nombre croissant de dispositifs et gros volumes de données, plus importante est la demande de débit et d'expansion de l'infrastructure. La complexité de cette expansion des réseaux augmente la probabilité des interruptions de service dues à une faille humaine ou autre problème. Ce fait met en évidence l'importance de la disponibilité, la fiabilité, la performance et la sécurité. L'efficacité et la réduction des coûts deviennent cruciales pour aboutir à la mise en échelle de ces besoins, et donc le management doit assumer un rôle primordial dans ce contexte. [16]

Malgré l'assistance des agents autonomes et intelligents ainsi que des logiciels pour le management réseau, la mission de l'administrateur réseau reste importante et compliquée. Il doit équilibrer les différentes tâches du management pour assurer que le **Système d'Information (SI)** soit proprement configuré et maintenu. [17]

La configuration et l'installation du réseau exigent des techniciens experts hautement qualifiés sur plusieurs éléments le composant. Les interactions entre les nœuds du réseau (switches, routeurs etc.) sont complexes, ce qui oblige à une approche système englobant la simulation. Cette tâche est difficile d'atteindre avec l'interface de programmation des équipements réseau d'aujourd'hui. De plus, les coûts opérationnels pour l'approvisionnement et le management de réseaux larges et multi-vendeurs couvrant plusieurs technologies ont augmenté récemment, alors que les revenus diminuent. [18]

L'architecture réseau n'a pas été conçue pour le management, pourtant les administrateurs des réseaux d'aujourd'hui rencontrent des problèmes critiques de configuration, d'ingénierie du trafic, de politique de routage et de diagnostic de failles. Leurs outils pour l'analyse du trafic sont faibles et leurs mécanismes pour contrôler les opérations réseau ne facilitent pas la prédictibilité entre les relations de cause-effet. On réalise que

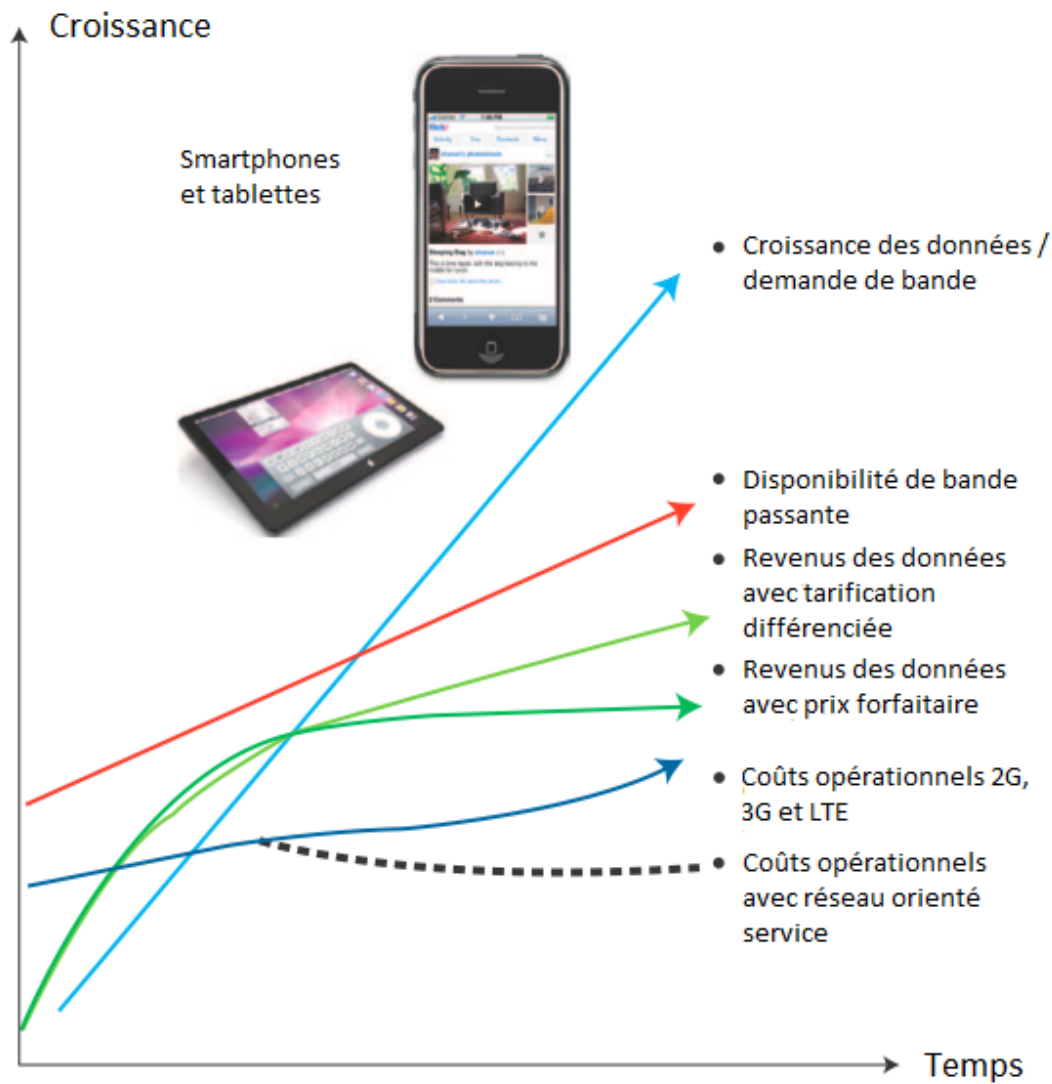


FIGURE 1.1. – Pression croissante sur l'infrastructure réseau [16]

l'opération et le management du réseau représentent la source la plus importante des coûts opérationnels, de failles et d'interruptions à cause d'erreurs des opérateurs. Un changement dans ce domaine est requis pour le design de l'architecture. [19]

1.3. Un nouveau modèle réseau pour supporter ces évolutions

Même si globalement l'architecture réseau d'internet est un succès incontestable, l'état de l'industrie réseau et l'essence de son infrastructure sont moins inspirants. Il est généralement admis que les réseaux courants sont excessivement chers, compliqués à gérer, sujets aux blocages des fournisseurs et difficiles à faire évoluer. En plus, cette condition a bien duré plus d'une décade. [20]

En résumé, l'infrastructure réseau est confrontée actuellement aux challenges suivants :

- La sécurité : le manque de sécurité est assez inquiétant à tous les niveaux : utilisateurs, développeurs, opérateurs de services. Il manque un point de concentration des flux pour les traitements **Intrusion Detection System : Système de Détection d'Intrusion (IDS)** et **Intrusion Prevention System : Système de Prévention d'Intrusion (IPS)** .
- La mobilité : il existe très peu de supports pour les applications et services mobiles.
- La fiabilité et la disponibilité : le nouvel usage de l'internet exige une plus haute fiabilité et une plus haute disponibilité.
- L'analyse de problèmes : les outils pour déboguer les failles réseau sont assez limités.
- Le hardware : la simplicité d'opération et l'indépendance des fabricants sont requises.
- L'évolution : certaines parties de l'architecture courante semblent être saturées, comme le système de routage.
- La qualité de service : le moyen d'intégrer différents niveaux de qualité de service reste toujours incertain.
- L'économique : outre toutes les questions techniques, il reste aussi la question pour les opérateurs de pouvoir continuer à tirer profit.

[21]

L'infrastructure réseau actuelle ne satisfait à aucun de ces objectifs. [20] Dans les dernières 30 années, internet a progressé en utilisant une approche incrémentielle pour répondre aux divers challenges rencontrés. Cependant, ce succès a récemment conduit la communauté à un point où les personnes sont peu disposées ou incapables d'innover sur cette architecture. Pour cette raison, il est peut être le moment d'explorer une nouvelle approche. [22]

Les chercheurs travaillent sur la proposition de cette nouvelle approche pour répondre aux divers challenges rencontrés actuellement. Cette approche doit proposer la conception d'une nouvelle architecture qui permettra à internet et aux réseaux en général de continuer à évoluer et supporter les applications qui répondent aux nouveaux besoins des utilisateurs. Basé sur diverses propositions qui émergent depuis quelques années d'études et recherches, **SDN** semble avoir été choisi par la communauté en s'appuyant sur le support des grands leaders du marché. [13]

Chapitre 2.

Réseaux programmables avec SDN

L'objectif est de concevoir une architecture plus adaptée aux enjeux de la communication actuelle discutés dans le chapitre 1. Cette problématique a amené scientifiques et ingénieurs impliqués à élaborer **SDN**. **SDN** est un nouveau **paradigme** réseau actuellement en cours de développement pour adapter l'infrastructure existante à ce nouveau scénario. Le but de ce chapitre est de (re)définir SDN et de présenter en quoi SDN répond aux besoins explicités dans le chapitre 1.

2.1. Séparation de l'intelligence (contrôle) de la commutation (flux de données)

Cette problématique posée, la communauté réseau montre une forte mobilisation pour le développement des réseaux programmables. Ces réseaux utilisent des switches et des routeurs programmables qui peuvent traiter des paquets pour des multiples réseaux expérimentaux à la fois, grâce à la **virtualisation**. [12] Divers projets pour les réseaux programmables, comme NETCONF [23], Ethane [24], GENI [25] etc. ont été réalisés et en ont servi de base pour ce paradigme qu'on développe et supporte aujourd'hui : SDN.

SDN est défini au long de cette étude selon **Open Networking Foundation (ONF)** : Dans l'architecture SDN, les plans de contrôle et de données sont découpés, l'intelligence et l'état du réseau sont logiquement centralisés, et l'infrastructure du réseau est donc abstraite des applications. [3]

Le **plan de contrôle** est responsable pour la configuration d'un nœud et pour la programmation des chemins qui seront utilisés par les flux de données. Le **plan de données** fournit au hardware les informations nécessaires à la commutation. [26]

Dans l'architecture réseau traditionnellement déployée, chaque équipement actif contient un plan de contrôle et un plan de données à l'intérieur du même matériel. L'ossification d'internet discutée dans le chapitre 1 est largement attribuée à ce fort couplage entre les deux plans, impliquant que toutes les décisions sur les flux de données soient embarquées dans chaque élément réseau. Le manque d'une interface de contrôle commune à tous les dispositifs complique toute évolution que cela soit un simple changement de configuration ou le développement d'une nouvelle application. [15]

Avec SDN, on propose la séparation de ces deux éléments. Le **plan de contrôle** est implémenté par un contrôleur centralisé et commun à tous les équipements qui passent à

contenir seulement le **plan de données** en plus d'un module de communication. La séparation de la fonction de commutation de la logique de contrôle permet un déploiement plus facile de nouveaux protocoles et applications. La virtualisation et le management du réseau deviennent plus simples et les nombreux **middleboxes** sont consolidées dans le logiciel de contrôle. [15] [3]

Dans l'image ci-dessous on voit un schéma illustrant l'ensemble de l'architecture dans les deux cas.

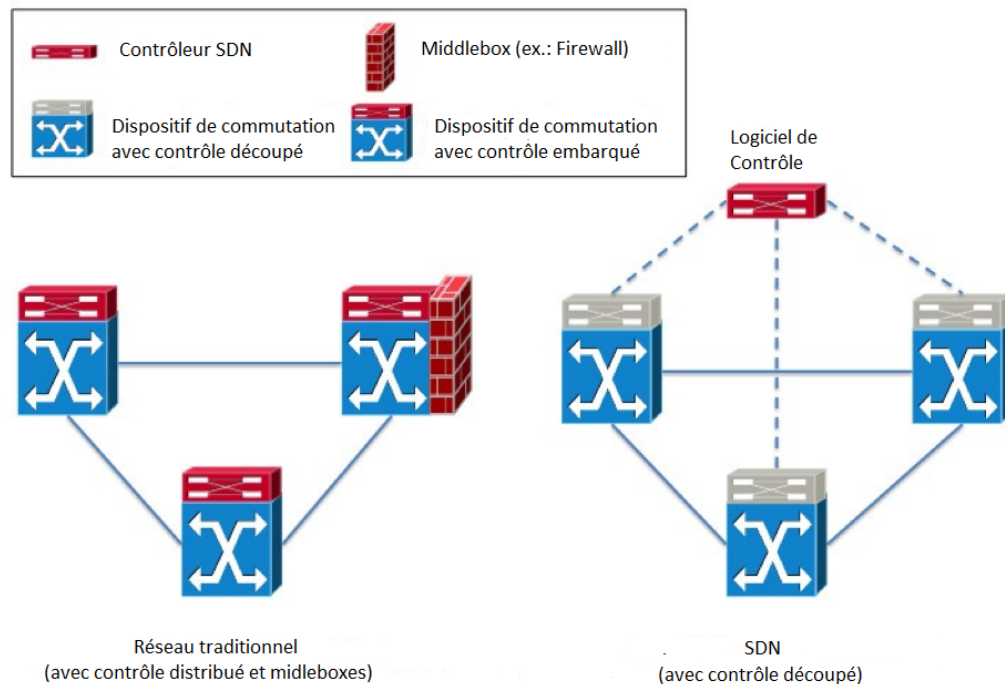


FIGURE 2.1. – L'ensemble de l'Architecture Traditionnelle et SDN [15]

Comme visualisé dans l'image, chaque dispositif actif de l'infrastructure contient traditionnellement un **plan de contrôle** et un **plan de données** embarqués. Dans cette architecture le contrôle est dit distribué et implique la décision de commutation réalisée dans chaque nœud. Cette approche est aussi appelée "réseau dirigé par configuration" où le comportement du réseau dépend de la configuration de chaque équipement actif. **Internet Protocol, Protocole d'Internet (IP)** et **MultiProtocol Label Switching, Commutation multi-protocoles par étiquettes (MPLS)** sont des exemples de ce modèle avec contrôle distribué. Ces systèmes comptent avec l'échange de routes et d'informations sur l'état de raccordement qui résultent en **plans de données** programmés pour réaliser ces chemins. La haute disponibilité est fournie grâce à la re-

dondance, avec l'approche "deux de tous" où l'on duplique chaque nœud permettant des chemins alternatifs lors de la faille d'un lien ou d'un élément. [27]

Dans le cas de SDN, le contrôle est centralisé et chaque dispositif réalise seulement la fonction de commutation. L'avantage de ce modèle est la possibilité d'avoir une vue du réseau permettant de simplifier la programmation du contrôle. SDN n'est pas la seule solution de contrôle centralisé et de réseau programmable existante. Indépendamment, dans tous les cas, cette approche permet aux applications de ne plus se soucier de l'état de chaque nœud, mais d'interagir avec un contrôle unique intégrant ces détails. [27]

2.2. Contrôle centralisé et hardware simplifié : l'intérêt de SDN

Cette séparation permet de simplifier et rendre plus flexible le contrôle et le management du réseau. Les technologies SDN adaptent plus facilement les fonctions du réseau aux besoins de différents business tout en réduisant significativement la complexité des opérations et du management, et par conséquent les coûts opérationnels. [28]

La séparation des plans de contrôle et de données leur permet d'évoluer indépendamment. Les éléments de commutation deviennent plus stables avec un code de base plus petit et moins volatile. Le principal avantage d'un contrôle centralisé est la vue du réseau qu'il peut fournir et la simplification de la programmation du contrôle.

Avec l'approche **SDN**, les switches sont contrôlés par un **Network Operating System, Système d'exploitation réseau (NOS)** qui fournit un modèle abstrait de la topologie du réseau au contrôleur **SDN** hébergeant les applications. Le contrôleur peut donc exploiter cette vue globale du réseau pour optimiser le management des flux et supporter les requis de 'scalabilité' et de flexibilité. [29]

Avec le **plan de contrôle** et le **plan de données** embarqués, les éléments actifs échangent leurs paramètres à travers des protocoles de routage (comme RIP, BGP, OSPF etc.) avec les voisins pour acquérir des informations pertinentes sur le réseau et prendre les décisions de commutation des paquets entrants. Dans ce modèle les changements d'états du réseau sont transférés entre les voisins, et le temps pour qu'ils deviennent cohérents est appelé "temps de convergence". Ce système implique l'utilisation de complexes algorithmes de calcul de route qui doivent s'exécuter dans chaque nœud à chaque changement d'état et doit aussi traiter la problématique d'un bouclage de diffusion entre les voisins. Avec SDN, la prise de décision est centralisée, ce qui évite la gestion de ces échanges et l'exécution multiple de ces algorithmes qui n'est réalisée qu'une fois dans le contrôleur. [27]

La technologie SDN peut aussi aider avec les enjeux des périmètres réseaux flous. Les vagues frontières empêchent de déterminer où la place des dispositifs de sécurité, tels que firewall. SDN permet le routage de tout trafic à travers un firewall centralisé. Un avantage supplémentaire d'avoir un trafic réseau qui passe par un point unique est de faciliter la capture et l'analyse en temps réel des données **IDS** et **IPS**. [27]

2.3. Choix d'implémentation pour des challenges (défis ?)

Le premier point à noter pour l'implémentation de SDN impose des notions de contrôle logiquement centralisé et de contrôle physiquement centralisé. Alors que la centralisation du contrôle est considérée comme un élément clé de la technologie, sa centralisation physique pose des problèmes sur la 'scalabilité' et la disponibilité. D'autres questions sur l'architecture centralisée se posent sur la taille et l'opération de la base de données et les requis de stockage du contrôleur. Un contrôle physiquement centralisé devient un point unique de failles pour tout le réseau et impose son remplacement lors d'une évolution. Un contrôle distribué permet de propager la charge et les risques. En contrepartie, des enjeux sur la synchronisation et l'overhead de communications entre contrôleurs sont à traiter. De cette manière, une topologie "par compromis" où le contrôle est logiquement centralisé mais physiquement distribué semble être la plus logique. [27] [15]

Un des objectifs de SDN est de développer des réseaux construits sur du matériel d'usage généralisé. Avec une interface programmable sur du matériel standard, un réseau équipé avec de multiples fournisseurs devient une possibilité. Cependant, cette flexibilité impose un challenge quant à la performance. Avec un processeur d'usage généralisé, les langages de programmation haut-niveau et divers outils de design fournissent une abstraction qui permet le développement rapide de fonctions sophistiquées de traitement de paquets. En contrepartie, des processeurs avec architecture optimisée pour le traitement réseau peuvent atteindre une performance plus élevée mais la flexibilité d'implémentation est réduite. Encore une fois, une architecture hybride semble être plus cohérente, satisfaisant le meilleur compromis entre performance et flexibilité. [30]

Dans le cas des migrations à grande échelle, la transition vers SDN exigera la co-existence de SDN et du réseau traditionnel. Les environnements SDN hybrides sont développés pour faire interagir les nœuds apte à SDN et les nœuds traditionnels intégrés. Cette interopérabilité requiert le support d'un protocole introduisant les capacités de communication SDN tout en fournissant la rétrocompatibilité avec les technologies en place. [31]

Quant aux politiques décisionnelles du contrôle, on distingue les politiques réactives et les proactives. Dans le modèle réactif, l'élément de commutation doit consulter le contrôle à chaque décision à prendre, par exemple quand un paquet d'un nouveau flux arrive. Au contraire, l'approche proactive du contrôle pousse les règles dans les switches, de façon à n'être consulté que rarement. Tant que le délai de traitement du premier paquet avec les politiques réactives reste négligeable, cela peut être un souci quand le contrôle est géographiquement ou quand les demandes de flux sont très dynamiques. Comme alternative, avec les politiques proactives le débit des flux peut être considérablement augmenté. Toutefois, l'évolution du contrôleur devient un souci lorsqu'il y a besoin de modifier les politiques en réaction à des conditions dynamiques, comme les erreurs matériels ou des événements impactant la disponibilité de liens et de services. Encore une fois la meilleure approche est de trouver le compromis entre les deux modèles en analysant les particularités du scénario d'exploitation. [15] [32]

Chapitre 3.

Des Applications de SDN et leurs possibilités

Une infinité d'applications et de cas d'utilisation sont imaginables. Ce chapitre propose d'analyser les enjeux auxquels on espère pouvoir répondre avec SDN et de présenter des applications plutôt ciblées sur ces attentes. De cette analyse, les cas d'utilisation plus cohérents seront identifiés et ensuite détaillés.

Entre les mois d'août et septembre de 2013, Webtorials a réalisé un sondage auprès de ses abonnés. Une des enquêtes a été sur les challenges et opportunités qu'ils pensent pouvoir adresser avec SDN au sein des organisations de **TI** typiques. Le tableau 3.1 affiche le pourcentage de réponses positives pour chaque challenge. [33]

Challenge ou Opportunité	Pourcentage
Meilleure utilisation des ressources réseau	51%
Simplifier la configuration de la QoS et de la sécurité	47%
Réaliser l'ingénierie du trafic avec vision point-à-point du réseau	44%
Évolution plus facile des fonctions réseau	39%
Support dynamique au management de ressources virtuelles	38%
Établissement des réseaux Ethernet virtuels sans les contraintes du fardeau de configuration des VLANs	35%
Réduction de la complexité	34%
Permettre les demandes dynamiques de services au réseau	32%
Réduction des dépenses d'exploitation	30%
Faire évoluer les fonctionnalités réseau plus rapidement en s'appuyant sur les cycles de vie du développement logiciel	27%
Implémentation plus facile de la QoS	27%
Implémentation des fonctionnalités de sécurité plus efficaces	26%
Réduction des dépenses d'investissement de capital	25%
Absence de challenges/opportunités pouvant être adressés par SDN	3%

TABLE 3.1. – Opportunités et Challenges adressés par SDN [34]

De ces résultats on peut conclure que le marché compte pouvoir se bénéficier de SDN sur une vaste gamme de challenges et opportunités, c'est qui démontre des attentes tout à fait favorables pour la technologie. Cette variété de sujets est en général intéressant pour l'adoption du **paradigme** mais peut causer des confusions au début ralentissant les actions à ce moment-là.

Dans les même sondage les participants on répondu que si leurs organisations implémentent SDN dans les deux ans que suivent, il est plus probable que cela soit sur **data center** (54%), section et/ou campus (26%), WAN (23%) ou pas d'implémentation SDN (11%) [35]. Par conséquent, les applications présentées ci-après sont classées sur ces trois cibles de déploiement.

3.1. Data Center

Virtual Local Area Network, Virtual LANs (VLANs) . SDN peut facilement fournir aux utilisateurs leurs propre réseaux isolés, comme les VLANs. L'approche la plus simple est de déclarer les ensembles de flux statiquement qui spécifient les ports accessibles par un VLAN ID donné. Le trafic identifié venant d'un type d'utilisateur (à l'origine d'un port du switch ou d'une adresse MAC spécifiés) est marqué dans le VLAN ID approprié. Une approche plus dynamique pourrait utiliser le contrôleur pour gérer l'authentification des utilisateurs et d'utiliser les informations sur leurs localisation pour marquer le trafic à la volée. [36]

Raccordement réseau de deux data centers. SDN permet de relier des réseaux au niveau de la couche 2 à travers des multiples data centers, les couvrant comme s'ils étaient dans un seul réseau. Avec cette fonctionnalité, les architectes d'applications peuvent par exemple placer leurs "compute clusters" dans leur point d'usage et supporter une efficace récupération après incident. [37]

Répartition de charge et sécurité. FlowScale est une application basée sur OpenFlow qui fournit la répartition de charge du trafic réseau en utilisant du switch OpenFlow. L'application a été utilisée dans un système **IDS** pour distribuer le trafic uniformément aux senseurs. Quand complètement déployé, le système sera capable de distribuer le trafic à de taux dépassant 500Gb/s. [38]

Economie d'énergie. ElasticTree est un gestionnaire d'énergie pour le réseau. Le projet utilise SDN pour trouver la configuration réseau plus économique qui satisfait les conditions de trafic en éteignant les équipements qui ne sont pas nécessaires. Le projet a obtenu des économies d'énergie entre 25 et 62% sous diverses conditions de trafic [ElasticTree]. Ces économies peuvent être augmentées en introduisant la virtualisation et la gestion des serveurs. Une possibilité est le travail Honeyguide qui propose une optimisation d'énergie en utilisant la migration de **Virtual Machine, Machine Virtuelles (VMs)** pour augmenter la quantité de **VMs** et de switches pouvant être arrêtés [39].

Applications sur Cloud Computig. Dans les offres **Infrastructure as a Service, Infrastructure en tant que service (IaaS)**, les utilisateurs ont une vision et un contrôle du réseau limités. Les technologies SDN peuvent faciliter la délégation de

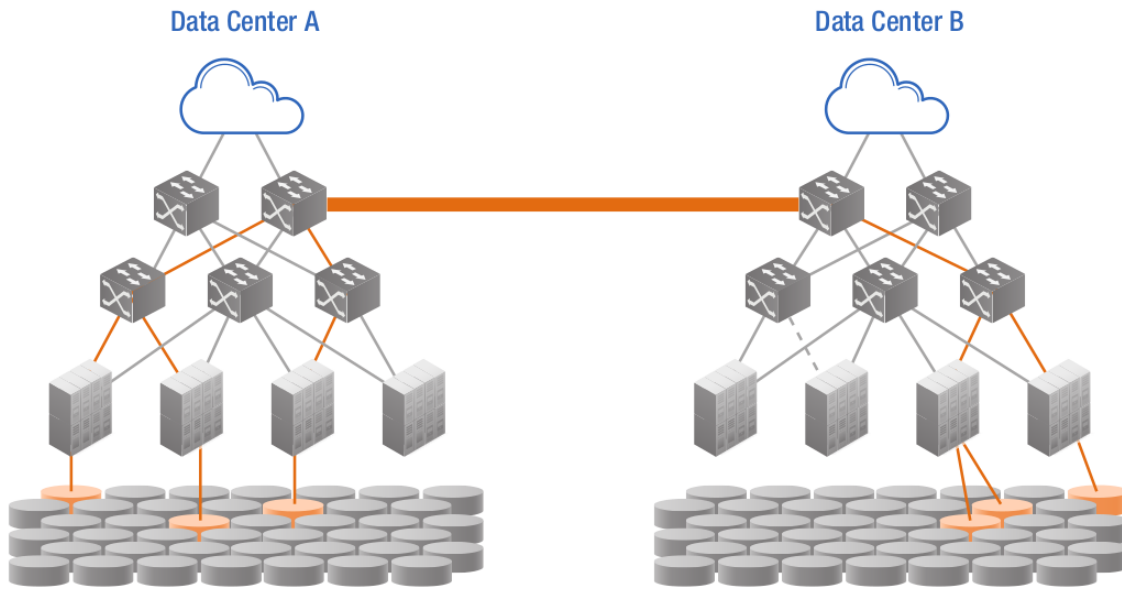


FIGURE 3.1. – Raccordement réseau de deux Data Centers [37]

contrôle du réseau et fournir certains niveaux d'abstraction aux utilisateurs finaux leur permettant de configurer leur morceau du réseau. De plus, les offres clouds basées sur SDN pourront fournir des services de bande passante sous demande avec la provision automatisée et intelligente, dirigés par une logique d'orchestration cloud et par les besoins des clients. [40]

3.2. Campus et grands réseaux

Souvent les entreprises opérant des grands réseaux ont des requis strictes de performance et sécurité qui peuvent varier largement selon divers facteurs. Par exemple, les réseaux des universités sont considérés comme en cas spécial des réseaux d'entreprises : dans cet environnement, plusieurs dispositifs connectés sont temporaires et ne sont pas contrôlés par l'institution, en outre mettant en question la sécurité et l'allocation de ressources. L'adéquation du management est critique dans ces conditions et SDN peut être utilisé pour imposer et ajuster les politiques réseaux par programmation ainsi qu'aider à surveiller l'activité et régler la performance.

Management du réseau et contrôle d'accès. Une implémentation d'un contrôleur, adaptée pour le management et contrôle du réseau, qui gère l'admission et le routage des flux. L'idée de base est de permettre aux administrateurs réseaux de définir des politiques applicables à tout le réseau dans un contrôleur central. Ces politiques seront renforcées directement par la réalisation du contrôle d'admission sur le traitement de chaque nouveau flux. Le contrôleur vérifie que le nouveau est en conformité avec un ensemble de règles, tels que "les hôtes peuvent communiquer via **HyperText Transfer Protocol : Protocole de transfert de hypertexte (HTTP)** seulement passant par

un proxy" ou "téléphones VoIP ne sont pas autorisés à communiquer avec les laptops". Un contrôleur associe des paquets avec leur émetteurs avec la liaison entre noms et adresses, basiquement il prend le contrôle du **Domain Name System, Système de noms de domaine (DNS)** et du **Dynamic Host Control Protocol, Protocole pour la configuration automatique d'hôte (DHCP)** et authentifie tous les utilisateurs qui se rejoignent, gardant trace des ports de switches ou point d'accès utilisé pour la connexion.

Connexion sans fils mobile. Plusieurs efforts ont été focalisés dans la connectivité omniprésente dans le contexte des infrastructures basées sur l'accès sans fil au réseau, comme le WiFi. Par exemple, des expériences ont été faites pour les clients mobiles VoIP sur la proposition d'un nouveau mécanisme de transfert d'appel. Un contrôleur est implémenté pour tracer la localisation des clients et être capable de re-router les connexions (avec la re-programmation des tableaux de flux) au moment où les utilisateurs se déplacent dans le réseau. Cela permettra le transfert transparent d'un point d'accès à l'autre sans coupure de l'appel. [36]

3.3. WAN

Wide Area Network, Réseau étendu (WAN) Centralization allows optimum routes to be calculated deterministically for each flow by leveraging a complete model of the end-to-end topology of the network. Bandwidth allocations can be controlled dynamically to provide bandwidth on demand with changing traffic patterns. The result can be much better utilization of the network without sacrificing service quality. Centralized route processing also allows the pre-computation of a set of fail-over routes for each possible link or node failure. Centralized processing also can take advantage of the virtually unlimited processing power of multi-core processors and cluster computing for calculating routes and processing new flows. As shown in Table 11, being able to do end-to-end traffic engineering is one of the top three opportunities that The Survey Respondents associate with SDN.

WAN traffic can be dynamically rerouted to reduce/control latency for VoIP and other latency sensitive applications. Traffic can also be load balanced over parallel paths of differing costs.

With OpenFlow V 1.3, per flow meters can be used for rate limiting or to provide real time visibility of application performance allowing the controller to modify forwarding behavior to maximize application performance. For example, the controller can configure an OpenFlow switch to modify the QoS markings to change the priority received over the remainder of the end-to-end path.

With extensions in V1.3 and V1.4, OpenFlow can support circuit-switched paradigms, including CWDM, DWDM, and MPLS with specific path selection and requested levels of CBR and priority. Circuits can be provisioned on a dynamic, scheduled, or permanent basis. Recovery from failed circuits can be via predetermined backup paths or by dynamic path selection. Circuit provisioning can take into account performance metrics, port states, and endpoint utilization.

A practical example of a real application of the SDN concept and architecture in the context of data centers was presented by Google in early 2012. The company presented at the Open Network Summit [81] a large scale implementation of an SDN-based network connecting its data centers. The work in [82] presents in more detail the design, implementation, and evaluation of B4, a WAN connecting Google's data centers world wide. This work describes one of the first and largest SDN deployments. The motivation was the need for customized routing and traffic engineering and the fact that the level of scalability, fault tolerance, cost efficiency and control required, could not be achieved by means of a traditional WAN architecture. A customized solution was proposed and an OpenFlow-based SDN architecture was built to control individual switches. After three years in production, B4 is shown to be efficient in the sense that it drives many links at near 100% utilization while splitting flows among multiple paths. Furthermore, the experience reported in the work shows that the bottleneck resulting from control-plane to data-plane communication and overhead in hardware programming are important issues to be considered in future work. [41]

Chapitre 4.

Solutions SDN disponibles

Le but de ce chapitre n'est pas de détailler chaque solution SDN émergeant, mais d'analyser les offres des principaux constructeurs du marché et leur positionnement pour les tendances qu'on peut espérer de SDN prochainement. Mais d'abord il est proposé un point sur la situation de SDN, en présentant comment les organisations supportant SDN se sont positionnées pour le développement de standards et de protocoles.

4.1. Un point sur la situation

Open Networking Foudation (**ONF**) est une organisation non lucrative et axée sur l'utilisateur, dédiée à l'accélération de l'adoption ouverte de SDN. Cette organisation voit SDN comme une approche réseau qui va changer la façon dont chaque entreprise opère un réseau. **ONF** a été initiée en 2011 par Deutsche Telekom, Facebook, Google, Microsoft, Verizon et Yahoo dans le but de travailler en collaboration pour repenser les réseaux informatiques et rapidement apporter au marché les solutions et les standards SDN. Avec la coopération de grands experts mondiaux, ONF accélère la commercialisation de SDN en favorisant un marché dynamique de produits, de services, d'applications, de clients et d'utilisateurs. ONF compte aujourd'hui plus de 100 entreprises membres collaboratives, de toute taille et variété. [42]

ONF a fait des efforts pour standardiser le protocole **OpenFlow** . Ce protocole focalise en standardiser les interfaces entre les applications et le contrôleur et les interfaces entre le contrôleur et l'équipement de commutation. De grands noms de l'industrie (comme Cisco, Microsoft, Google etc.) ont réalisé des produits supportant OpenFlow, comme des switches. [15]

Le fort soutien de l'industrie, de la recherche et des académies que **ONF** et sa proposition de **SDN** , **OpenFlow** , ont pu recueillir est assez révélateur. Les résultats dans ces différents secteurs ont produit un nombre significatif de livrables dans la forme d'articles de recherche, d'implémentations de logiciels de référence et même de hardware. Il y a eu également des efforts de standardisation de SDN de la part d'autres organisations produisant des normes, comme IETF et IRTF. [13]

La fondation Linux avec son projet **Open Daylight** a introduit une plateforme **open source** guidée par la communauté et supportée par l'industrie. Le but du projet est d'accélérer l'adoption de SDN, d'encourager l'innovation et de présenter une proche plus ouverte et transparente. OpenDaylight a le soutien dont il a besoin pour transformer

SDN. Big Switch Networks, Brocade, Cisco, Citrix, Ericsson, IBM, Juniper Networks, Microsoft, NEC, Red Hat et VMware sont tous de fondateurs Platinum et membres Gold du projet. Ces acteurs vont apporter des ressources d'ingénierie logicielle et vont aider à définir le futur de cette plateforme SDN ouverte. Le point important à noter est l'union de forces des rivales de l'industrie. [43]

Diverses entreprises offrent une large gamme de produits SDN. Toutefois, les stratégies de chaque produit SDN peuvent différer radicalement parmi les organisations. Alors que certaines basent leurs produits dans l'optique traditionnelle de SDN, d'autres proposent leurs propres visions et offrent des produits dans ce contexte. Un article sur SearchSDN [44] propose une liste représentative des principaux vendeurs. ONF divulgue une liste de produits SDN soumis par ces membres [45].

Les catégories des produits varient aussi en fonction du secteur des sociétés qui les offrent. En général, les commerçants de chips/silicium proposent des processeurs optimisant la performance du hardware de commutation. Les vendeurs de switches offrent du matériel capable de communiquer avec un contrôleur SDN. Les spécialistes de la **virtualisation** offrent des solutions logiciel simulant de switches ou routeurs SDN virtualisés. D'autres organisations vont investir sur le développement d'un contrôleur SDN. Une pratique adoptée par les géants de l'industrie est l'offre de tout l'écosystème SDN souvent avec une accentuation sur des applications pour l'automatisation de **data center** .[46] L'image 4.1 montre l'architecture de base SDN qui peut être très proche de certaines solutions ou assez différente selon la stratégie du vendeur.

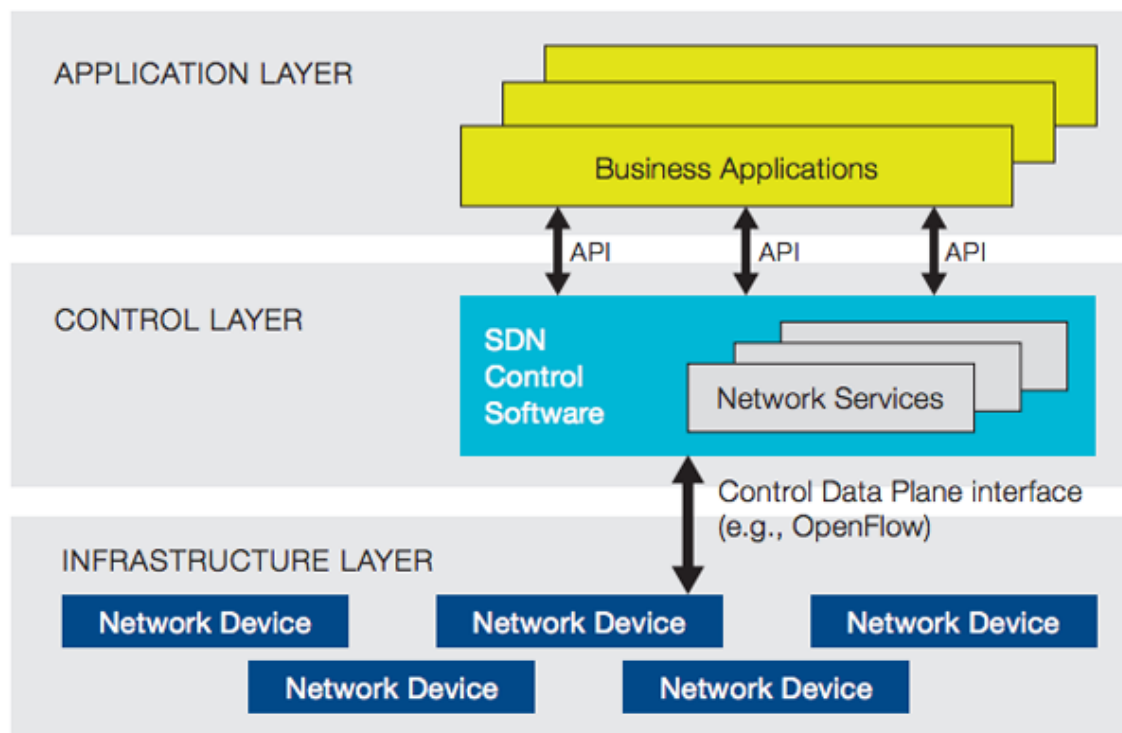


FIGURE 4.1. – Architecture OpenFlow SDN par ONF [3]

Le tableau ci-dessous identifie les principaux produits SDN et les organisations plus représentatives leurs fournissant.

Produit	Vendeur
Chips pour matériel réseau	Boradcom, Intel, Marvell, Mellanox
Switches SDN	Alcatel-Lucent, Avaya, Cisco, Dell, Extreme Networks, HP, NEC, PICA-8, IBM
Systèmes pour le management et automatisation du réseau	Packet Design, QualiSystems, EMC, NetScout, CA
Services réseau avec SDN	Embrane, A10, Radware, HP, Riverbed, Citrix, Cisco, Extreme Networks, NEC
Outils pour la réalisation de tests, les propres résultats des tests	QualiSystems, inCNTRE, Ixia, Spirent
Standards et protocoles	ONF, IEEE, IETF
Contrôleur SDN	Big Switch Networks, NEC, Nuage Networks, Netsocket, HP, Cisco, Open Daylight Consortium, VMware/Nicira
Switchs virtuels et APIs	Citrix, Microsoft, VMWare, Big Switch Networks, Cisco

TABLE 4.1. – Produits SDN et les principaux fournisseurs [46]

Ensuite ce document présente les principales solutions construites par les plus conséquents vendeurs du marché.

4.2. Écosystème SDN HP, gamme de solutions virtualisées Data Center

Les dirigeants de Hewlett-Packard exposent les grandes lignes pour leur stratégie SDN et de leur position face au marché, en pariant sur l'adoption dominante de cette technologie. HP espère que SDN sera largement déployé dans les entreprises en 2015 et qu'il représentera un marché de 2 milliards de dollars en 2016. La société investit dans sa spécialité d'automatisation de **data center** pour argumenter sa position d'acteur SDN en premier plan. [47]

HP a récemment annoncé sa nouvelle gamme de solutions SDN. Avec l'architecture réseau convergé FlexNetwork, HP se vante d'offrir jusqu'à deux fois plus d'évolutivité avec 75% de complexité en moins, par comparaison à d'autres solutions "fabric" proposées sur le marché. En outre, HP affirme que sa solution "fabric" va réduire les délais d'approvisionnement de **data center** de quelques mois à seulement quelques minutes. Le portfolio des services SDN proposés par HP est assez solide, avec des produits ciblant différents points qui vont du traitement des infrastructures existantes à la simplification d'opérations. Par exemple, le HP Virtualized Services Router a été conçu pour éliminer le hardware pouvant être remplacé par des services dans les **VMs**.

La suite d'offres SDN de HP est assez importante, avec des produits qui ciblent divers domaines, l'interopérabilité avec les infrastructures traditionnelles et la simplification des opérations. Par exemple, le produit "HP Virtualized Services Router" est conçu pour éliminer du matériel non essentiel dans les **data centers**. De plus, la série "HP HSR 6800 Router Series" a pour but de simplifier la livraison de service réseau en consolidant les fonctions des routage, commutation et sécurité sur le même dispositif supportant des milliers d'utilisateurs. "HP HSR 6800 Router Series" est disponible mondialement au prix initial de \$46,000. [48]

4.3. Cisco ONE, hardware programmable

Cisco **Open Network Environment, Environnement Réseau Ouvert (ONE)** est une solution complète pour aider les réseaux à devenir plus ouverts, programmables et sensibles aux applications. Cisco estime qu'une compréhension approfondie de la couche matérielle est nécessaire. Cela veut dire à la fois que le logiciel et le matériel devrait être développés par la même entreprise et reliés entre eux. À cet effet, Cisco a cherché à embarquer des logiciels les plus sophistiqués dans ses switches dans le but de renforcer sa crédibilité SDN.

Alors que cette stratégie ne concorde par tout à fait avec la définition de SDN par **ONF**, le résultat obtenu est proche : les switches devient plus manageables à travers une interface centrale fournie. Cisco désigne ce modèle comme réseau centré sur les applications, parce que l'organisation introduit des **Application Programming Interface, Interface de Programmmations (APIs)** qui permettent aux applications d'interagir directement avec le réseau. [49]

Cette vision suggère que Cisco tient à s'assurer que cette approche axée logiciel ne menace pas son business consolidé du marché de hardware réseau. D'un côté cela permet de maintenir les prix élevés de ces équipements réseau "smarts" tout en permettant de fournir les capacités SDN. Cette approche indique que l'organisation compte embarquer les informations sur les réseaux à partir du matériel vers un logiciel de contrôle plus flexible. Cela diffère de l'approche fédérée par **ONF** dont les informations sont diffusées en sens inverse.

Finalement, la proposition de Cisco semble jouable pour les investisseurs mais potentiellement inintéressante pour l'innovation. Il est probable que l'entreprise utilise son poids pour renforcer sa vision particulière de SDN en tant qu'un standard. Si cela se produit, les entreprises devront continuer à dépenser de grandes sommes sur du matériel et logiciel propriétaires. Bien que ce scénario puisse rendre SDN plus accessible au début, il risque de devenir contraignant dans le futur. [50]

***Parler de l'acquisition de Insieme

4.4. Virtualisation : Big Switch Controller et VMWare NSX

Au sein des plus grands et reconnus vendeurs, il se peut que l'innovation soit plus difficile à atteindre. Ces entreprises ont déjà un modèle de business habituel à maintenir, ce qui est souvent contraignant pour le développement d'une technologie qui est véritablement nouvelle et différente. Pour cette raison SDN a engendré un certain nombre de start-ups avec des technologies porteuses. N'ayant pas cette contrainte, les start-ups spécialisés sur SDN ont eu la liberté de penser au réseau différemment et d'apporter des produits plus originaux et innovants. Les start-ups dirigent certainement le 'quand' et le 'comment' des innovations sur les réseaux programmables. [51]

Les acquisitions de ces start-ups par les leaders du marché sont devenues assez courantes. VMWare présente sa solution NSX comme une plateforme de virtualisation du réseau pour "software-defined data center". La société a investi 1,3 milliard de dollars dans l'acquisition de Nicira, une entreprise spécialisée dans la virtualisation réseau. VMWare a intégré sa virtualisation à la technologie Nicira pour faire transiter l'information entre et autour des data centers. L'approche de Nicira est indépendante du hardware et donc capable de fonctionner comme un contrôleur dans le style SDN. Toutefois, les produits Nicira sont conçus pour gérer les réseaux virtuels plutôt que les physiques. [52]

Son principal concurrent est le Big Network Controller, un contrôleur SDN développé par la start-up Big Switch Networks. L'entreprise poursuit un important morceau du marché et s'est fait remarquer par des grands noms. Big Switch a annoncé en novembre son premier produit, un écosystème SDN permettant aux consommateurs de modifier leurs réseaux et data centers via software. La solution est plus large que VMWare NSX et peut menacer aussi le business de fabricants d'équipement réseau, comme Cisco. [53]

Dans son annonce Big Switch a révélé 27 vendeurs partenaires qui vont développer SDN et des applications virtualisées et coordonner les effort de ventes directes avec la start-up. Les partenaires varient des traditionnels fabricants de hardware réseau comme Juniper, Brocade et HP à des fabricants d'hyperviseurs comme Citrix et Microsoft. La plateforme proposée offre **fabric** switch OpenFlow qui peut exécuter dans un switch physique ou dans un hyperviseur et permet une large variété d'applications SDN, y compris la virtualisation de data center et réseau ainsi que leur monitoring. [54]

4.5. Brocade Ethernet Fabric, Fibre Channel support over Ethernet

Virtual Cluster Switching Pour les architectes du réseau et serveurs de data centre.

4.6. Juniper MetaFabric Architecture

Conclusion

⋮

Annexe A.

Première annexe

TI

Bibliographie

- [1] Nick McKEOWN et al. « OpenFlow: Enabling Innovation in Campus Networks ». In : *SIGCOMM Comput. Commun. Rev.* 38.2 (mar. 2008), p. 69–74. ISSN : 0146-4833. DOI : 10.1145/1355734.1355746. URL : <http://doi.acm.org/10.1145/1355734.1355746>.
- [2] *OPEN DATA CENTER ALLIANCE Master USAGE MODEL: Software-Defined Networking Rev. 1.0*. White Paper. Section Executive Summary. 2013.
- [3] *Software-Defined Networking: The New Norm for Networks, Section Executive Summary*. White Paper. Open Networking Foundation. Avr. 2012.
- [4] Michael KENDE. *Internet global growth: lessons for the future*. Analysys Mason Limited, London, United Kingdom, section 4.3 Impact on developing countries. Sept. 2012.
- [5] *Cisco Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast Update, 2012–2017*. White Paper. The Cisco® Visual Networking Index (VNI) Global Mobile Data Traffic Forecast Update is part of the comprehensive Cisco VNI Forecast, an ongoing initiative to track and forecast the impact of visual networking applications on global networks. This paper presents some of Cisco’s major global mobile data traffic projections and growth trends. Fév. 2013.
- [6] *2 Years Later: The First Instagram Photo*. Postage d’un le blog officiel. 2013.
- [7] Michael KENDE. *How Internet continues to sustain growth and Innovation*. Analysys Mason Limited and Internet Society (ISOC), London, United Kingdom, section 1 Introduction. Oct. 2012.
- [8] *Information Management and Big Data A Reference Architecture*. An Oracle White Paper. Fév. 2013.
- [9] *Intel’s Vision of Open Cloud Computing*. White Paper. Intel IT Center. 2013.
- [10] Pamela ZAVE. « Internet Evolution and the Role of Software Engineering ». English. In : *The Future of Software Engineering*. Sous la dir. de Sebastian NANZ. Section 7 Conclusion. Springer Berlin Heidelberg, 2011, p. 152–172. ISBN : 978-3-642-15186-6. DOI : 10.1007/978-3-642-15187-3_12. URL : http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-15187-3_12.
- [11] Pamela ZAVE. « Internet Evolution and the Role of Software Engineering ». English. In : *The Future of Software Engineering*. Sous la dir. de Sebastian NANZ. Section 3 The Real Internet et 4 Internet trends and evolution. Springer Berlin Heidelberg, 2011, p. 152–172. ISBN : 978-3-642-15186-6. DOI : 10.1007/978-3-642-15187-3_12. URL : http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-15187-3_12.

- [12] Nick McKEOWN et al. « OpenFlow: Enabling Innovation in Campus Networks ». In : *SIGCOMM Comput. Commun. Rev.* 38.2 (mar. 2008). Section 1. THE NEED FOR PROGRAMMABLE NETWORKS, p. 69–74. ISSN : 0146-4833. DOI : 10.1145/1355734.1355746. URL : <http://doi.acm.org/10.1145/1355734.1355746>.
- [13] Bruno Nunes ASTUTO et al. *A Survey of Software-Defined Networking: Past, Present, and Future of Programmable Networks*. Anglais. Section 1. Introduction. Jan. 2014.
- [14] *IPv6 - What is it, why is it important, and who is in charge?* Paper. A factual paper prepared for and endorsed by the Chief Executive Officers of ICANN and all the Regional Internet Registries. Oct. 2009.
- [15] Bruno Nunes ASTUTO et al. *A Survey of Software-Defined Networking: Past, Present, and Future of Programmable Networks*. Anglais. Section 3. SOFTWARE-DEFINED NETWORKING ARCHITECTURE. Jan. 2014.
- [16] *Managing the growing pains in today's expanding networks*. White Paper. Section The need for management in an expanding network. Jan. 2012.
- [17] Sarah LOWMAN. « Central issues in network management ». In : (2010). Section Conclusion.
- [18] S. SEZER et al. « Are we ready for SDN? Implementation challenges for software-defined networks ». In : *Communications Magazine, IEEE* 51.7 (juil. 2013), p. 36–43. ISSN : 0163-6804. DOI : 10.1109/MCOM.2013.6553676.
- [19] *A Clean-Slate Design for the Next-Generation Secure Internet, Section 4.4 Network Management*. Paper. Steven M. Bellovin Columbia University, David D. Clark MIT, Adrian Perrig CMU, Dawn Song CMU. 2005.
- [20] Martin CASADO et al. « Fabric: A Retrospective on Evolving SDN, section 1 Introduction ». In : *Proceedings of the First Workshop on Hot Topics in Software Defined Networks*. HotSDN '12. Helsinki, Finland : ACM, 2012, p. 85–90. ISBN : 978-1-4503-1477-0. DOI : 10.1145/2342441.2342459. URL : <http://doi.acm.org/10.1145/2342441.2342459>.
- [21] Anja FELDMANN. « Internet Clean-slate Design: What and Why? » In : *SIGCOMM Comput. Commun. Rev., Section 1 Introduction* 37.3 (juil. 2007), p. 59–64. ISSN : 0146-4833. DOI : 10.1145/1273445.1273453. URL : <http://doi.acm.org/10.1145/1273445.1273453>.
- [22] Anja FELDMANN. « Internet Clean-slate Design: What and Why? » In : *SIGCOMM Comput. Commun. Rev., Section 4. THE CLEAN-SLATE APPROACH* 37.3 (juil. 2007), p. 59–64. ISSN : 0146-4833. DOI : 10.1145/1273445.1273453. URL : <http://doi.acm.org/10.1145/1273445.1273453>.
- [23] *NETCONF Configuration Protocol*. RFC 4741. R. Enns. Déc. 2006.
- [24] Martin CASADO et al. « Ethane: Taking control of the enterprise ». In : *ACM SIGCOMM Computer Communication Review* 37.4 (2007), p. 1–12.

- [25] GENI, *Global Environment for Network Innovations*. Web site. <http://geni.net>. Fév. 2014.
- [26] S. SEZER et al. « Are we ready for SDN? Implementation challenges for software-defined networks, Section 2 BACKGROUND - Why SDN? » In : *Communications Magazine, IEEE* 51.7 (juil. 2013), p. 36–43. ISSN : 0163-6804. DOI : 10.1109/MCOM.2013.6553676.
- [27] Thomas Nadeau D. et Ken GRAY. *SDN: Software Defined Networks*. 1st. Chapitre 2 - Centralized and Distributed Control and Data Planes. O'Reilly Media, Inc., 2013. ISBN : 1449342302, 9781449342302.
- [28] Ashley HU Fei et Gerrity. *Network Innovation through OpenFlow and SDN: Principles and Design*. Chapitre 1 - SDN/OpenFlow: Concepts And Applications. CRC Press, 2014.
- [29] S. SEZER et al. « Are we ready for SDN? Implementation challenges for software-defined networks, Section 2 BACKGROUND - Why SDN? » In : *Communications Magazine, IEEE* 51.7 (juil. 2013). Section 2 BACKGROUND -Why SDN?, p. 36–43. ISSN : 0163-6804. DOI : 10.1109/MCOM.2013.6553676.
- [30] S. SEZER et al. « Are we ready for SDN? Implementation challenges for software-defined networks, Section 3 KEY CHALLENGES ». In : *Communications Magazine, IEEE* 51.7 (juil. 2013), p. 36–43. ISSN : 0163-6804. DOI : 10.1109/MCOM.2013.6553676.
- [31] Lav GUPTA. *SDN: Development, Adoption and Research Trends : A Survey of Research Issues in SDN*. Paper. Section 2 Implementation issues in SDN. Déc. 2013.
- [32] Reema Prasad - Solutions Architect MARK MITCHINER - SOLUTIONS ARCHITECT. *Software-Defined Networking: Why We Like It and How We Are Building On It*. White Paper. Cisco. 2013.
- [33] *The 2013 Guide to Network Virtualization and SDN*. White Paper. Section Potential SDN Use Cases. Déc. 2013.
- [34] *The 2013 Guide to Network Virtualization and SDN*. White Paper. Table 11: Opportunities and Challenges that SDN Can Address. Déc. 2013.
- [35] *The 2013 Guide to Network Virtualization and SDN*. White Paper. Table 12: Focus of SDN Deployment. Déc. 2013.
- [36] Nick McKEOWN et al. « OpenFlow: Enabling Innovation in Campus Networks ». In : *SIGCOMM Comput. Commun. Rev.* 38.2 (mar. 2008). 3. USING OPENFLOW, p. 69–74. ISSN : 0146-4833. DOI : 10.1145/1355734.1355746. URL : <http://doi.acm.org/10.1145/1355734.1355746>.
- [37] *OPEN DATA CENTER ALLIANCE Master USAGE MODEL: Software-Defined Networking Rev. 1.0*. White Paper. Section Usage Scenarios. 2013.

- [38] InCNTRE Indiana University KEITH LEHIGH Information Security Office Indiana University; Ali Khalfan. *Multi-Gigabit Intrusion Detection with OpenFlow and Commodity Clusters*. Project. 2012.
- [39] H. Yamada H. SHIRAYANAGI et K. KONO. « Honeyguide: A vm migration-aware network topology for saving energy consumption in data center networks ». In : *Computers and Communications (ISCC), 2012 IEEE Symposium* (2012), p. 460–467.
- [40] Lav GUPTA. *SDN: Development, Adoption and Research Trends : A Survey of Research Issues in SDN*. Paper. Section 3 SDN and cloud computing. Déc. 2013.
- [41] Bruno Nunes ASTUTO et al. *A Survey of Software-Defined Networking: Past, Present, and Future of Programmable Networks*. Anglais. Section 5. SDN A PPLICATIONS. Jan. 2014.
- [42] ONF, Open Networking Foundation. White Paper. Open Networking Foundation. Sept. 2013.
- [43] *Executive's guide to software- defined networking*. White Paper. Pages 17 et 18, The Linux Foundation unifies software- defined networking powers. Juin 2013.
- [44] *Thinking about SDN? Here are 42 vendors that offer SDN products*. Web Site. Ethan Banks, <http://searchsdn.techtarget.com/news/2240212374/Thinking-about-SDN-Here-are-42-vendors-that-offer-SDN-products>. Jan. 2014.
- [45] *SDN Product Directory*. <https://www.opennetworking.org/sdn-resources/onf-products-listing>. ONF. 2014.
- [46] *The 2013 Guide to Network Virtualization and SDN*. White Paper. Chapitre 3: The NV and SDN Ecosystem. Déc. 2013.
- [47] *Executive's guide to software- defined networking*. White Paper. Pages 15 et 16, HP predicts SDN will go mainstream in 2015. Juin 2013.
- [48] *Executive's guide to software- defined networking*. White Paper. Page 23, HP boasts its SDN fabric cuts provisioning down from months to minutes. Juin 2013.
- [49] Reema Prasad - Solutions Architect MARK MITCHINER - SOLUTIONS ARCHITECT. *Software-Defined Networking and Network Programmability: Use Cases for Defense and Intelligence Communities*. White Paper. Cisco. 2014.
- [50] *Executive's guide to software- defined networking*. White Paper. Pages 19 à 22. Juin 2013.
- [51] Ethan BANKS. *Don't overlook SDN startups when investing in programmable networks*. Web Site. <http://searchsdn.techtarget.com/tip/Dont-overlook-SDN-startups-when-investing-in-programmable-networks>. Jan. 2014.
- [52] *Executive's guide to software- defined networking*. White Paper. Page 24, SDN gets a commercial boost from Big Switch Networks. Juin 2013.

- [53] REUTEURS. *Big Switch Networks launches first commercial product*. Web Site. <http://www.reuters.com/article/2012/11/13/bigswitchnetworks-sdn-idUSL1E8MD05D20121113>. Nov. 2013.
- [54] Zeus KERRAVALA. *Highlights of Big Switch's long-awaited SDN announcement*. Web Site. <http://www.networkworld.com/community/blog/highlights-big-switches-long-awaited-sdn-announcement>. Nov. 2013.
- [55] Thomas Nadeau D. et Ken GRAY. *SDN: Software Defined Networks*. 1st. O'Reilly Media, Inc., 2013. ISBN : 1449342302, 9781449342302.
- [56] Bruno Nunes ASTUTO et al. *A Survey of Software-Defined Networking: Past, Present, and Future of Programmable Networks*. Anglais. Jan. 2014.
- [57] Nick MCKEOWN et al. « OpenFlow: Enabling Innovation in Campus Networks ». In : *SIGCOMM Comput. Commun. Rev.* 38.2 (mar. 2008). Section 2. THE OPENFLOW SWITCH, p. 69–74. ISSN : 0146-4833. DOI : 10.1145/1355734.1355746. URL : <http://doi.acm.org/10.1145/1355734.1355746>.
- [58] D. Despotovi S. CVETANOVI et I. MLADENOVI. « The concept of technological paradigm and the cyclical movements of the economy ». Anglais. In : *Facta universitatis - series: Economics and Organization* 9.2 (2012), p. 149–159. ISSN : 330.342.143.
- [59] G. DOSI. *Technological paradigms and technological trajectories, Research Policy*. Anglais. 1982.
- [60] Christopher MONSANTO et al. « Composing Software Defined Networks ». In : *Presented as part of the 10th USENIX Symposium on Networked Systems Design and Implementation*. Lombard, IL : USENIX, 2013, p. 1–13. ISBN : 978-1-931971-00-3. URL : <https://www.usenix.org/conference/nsdi13/composing-software-defined-networks>.
- [61] Martin CASADO et al. « Fabric: A Retrospective on Evolving SDN ». In : *Proceedings of the First Workshop on Hot Topics in Software Defined Networks*. HotSDN '12. Helsinki, Finland : ACM, 2012, p. 85–90. ISBN : 978-1-4503-1477-0. DOI : 10.1145/2342441.2342459. URL : <http://doi.acm.org/10.1145/2342441.2342459>.
- [62] Martin CASADO et al. « Fabric: A Retrospective on Evolving SDN, section 3 Extending SDN ». In : *Proceedings of the First Workshop on Hot Topics in Software Defined Networks*. HotSDN '12. Helsinki, Finland : ACM, 2012, p. 85–90. ISBN : 978-1-4503-1477-0. DOI : 10.1145/2342441.2342459. URL : <http://doi.acm.org/10.1145/2342441.2342459>.
- [63] N. FOSTER et al. « Languages for software-defined networks ». In : *Communications Magazine, IEEE* 51.2 (fév. 2013), p. 128–134. ISSN : 0163-6804. DOI : 10.1109/MCOM.2013.6461197.
- [64] Michael KENDE. *Internet global growth: lessons for the future*. Analysys Mason Limited, London, United Kingdom. Sept. 2012.

- [65] Michael KENDE. *How Internet continues to sustain growth and Innovation*. Analysys Mason Limited and Internet Society (ISOC), London, United Kingdom. Oct. 2012.
- [66] *Managing the growing pains in today's expanding networks*. White Paper. Figure 1. Jan. 2012.
- [67] Anja FELDMANN. « Internet Clean-slate Design: What and Why? » In : *SIGCOMM Comput. Commun. Rev.* 37.3 (juil. 2007), p. 59–64. ISSN : 0146-4833. DOI : 10.1145/1273445.1273453. URL : <http://doi.acm.org/10.1145/1273445.1273453>.
- [68] N. McKEOWN. « Elastictree: Saving energy in data center networks ». In : *Proceedings of the 7th USENIX conference on Networked systems design and implementation* (2010), p. 17–27.
- [69] Fei HU. *Network Innovation through OpenFlow and SDN: Principles and Design*. CRC Press, 2014.
- [70] *Executive's guide to software-defined networking*. White Paper. Page 17. Juin 2013.
- [71] *The 2013 Guide to Network Virtualization and SDN*. White Paper. Chapitre 3: The NV and SDN Ecosystem. Déc. 2013.
- [72] *Open Daylight Project*. Web site. <http://www.opendaylight.org/project>. Avr. 2014.
- [73] *Open Source Initiative*. Web site. <http://opensource.org/>. Avr. 2014.
- [74] *OPEN DATA CENTER ALLIANCE Master USAGE MODEL: Software-Defined Networking Rev. 1.0*. White Paper. 2013.
- [75] Lav GUPTA. *SDN: Development, Adoption and Research Trends : A Survey of Research Issues in SDN*. Paper. Section 2 Implementation issues in SDN. Déc. 2013.

Glossaire

Big Data Big Data est un terme appliqué aux ensembles de données dont la taille est au-delà de la capacité des outils logiciels communs de les capturer, les gérer et les traiter. Une nouvelle classe de technologies et outils ont été développés pour surmonter le challenge de créer valeur commercial de la complexe analyse de ces données. Le terme est employé pour référer ce type de données ainsi que les technologies utilisées pour les stocker et les traiter. [8]

Cloud Computing Le Cloud Computing est x

Data Center Centre de données.

Fabric L'idée du design réseau autour d'un *fabric* est bien entendu par la communauté. Sous ce modèle, un *fabric* est un système composant qui représente 'grossièrement (roughly)' la commutation. En théorie, un *fabric* devrait être capable de supporter un nombre de conceptions de pointe y compris des schémas d'adressage et des modèles de politique. [62]

Middlebox Boîtier intermédiaire. Un middlebox est un serveur gardant des états au milieu de la communication entre deux hôtes. Ils se différencient des hôtes qui représentent les 'endpoints' de la communication. Ils sont encore différents des routeurs qui ne gardent pas d'états concernant les instances de communications. [11]

Open Daylight Association provoquée par Linux Foundation pour l'union des géants du marché réseau dans le but de développer un contrôleur SDN open source, pour l'innover, l'encourager et pour permettre son adoption accélérée. [72]

Open Source Logiciel avec code source ouvert, qui peut donc être utilisé librement, modifié et partagé par quelqu'un. Un logiciel open source est développé par plusieurs personnes et distribué sous des licences qui se conforment à la définition d'open source. [73]

OpenFlow Le protocole OpenFlow focalise en standardiser 1) l'interface entre les applications et le contrôleur et 2) entre le contrôleur et les éléments de commutation. [15] [57]

Paradigme Un paradigme dénote une collection de règles, standards et exemples de pratiques scientifiques, partagés par un groupe de scientifiques. Sa genèse et continuation de la tradition de recherche sont conditionnées à l'engagement et au consensus

qui en découle. [58] D'après Dosi [59], quand un nouveau paradigme technologique apparaît, il représente une discontinuité ou un changement de la manière de penser. Ce changement apporté par le paradigme est souvent lié à une sorte d'innovation radicale qui applique une nouvelle technologie. Dans ce document, le terme paradigme sera employé dans ce sens d'innovation et application de nouvelle technologie.

Plan de Contrôle Intelligence du réseau, ensemble des données locales utilisées pour établir les entrées des tableaux de commutation, qui sont utilisés par le plan de données pour effectuer la transmission du trafic entre les ports d'entrée et de sortie du dispositif. [27]

Plan de Données Le plan de données traite les data-grammes entrants dans le média à travers une série d'opérations au niveau des liens qui collectent ces data-gramme et réalisent divers tests de cohérence basiques. Ensuite les data-grammes sont transférés en accord avec des tableaux pré-remplis par le **plan de contrôle**. [27]

Virtualisation La Virtualisation est y

Acronyms

API Application Programming Interface, Interface de Programmation

ASIC Application Specific Integrated Circuit, Circuit intégré pour application spécifique

DHCP Dynamic Host Control Protocol, Protocole pour la configuration automatique d'hôte

DNS Domain Name System, Système de noms de domaine

HTTP HyperText Transfer Protocol : Protocole de transfert de hypertexte

IaaS Infrastructure as a Service, Infrastructure en tant que service

IDS Intrusion Detection System : Système de Détection d'Intrusion

IP Internet Protocol, Protocole d'Internet

IPS Intrusion Prevention System : Système de Prévention d'Intrusion

LAN Local Area Network, Réseau local

MPLS MultiProtocol Label Switching, Commutation multi-protocoles par étiquettes

NAT Network Address Translation, Traduction d'adresse réseau

NFV Network Functions Virtualization, Virtualisation des fonctions réseau

NOS Network Operating System, Système d'exploitation réseau

ONE Open Network Environment, Environnement Réseau Ouvert

ONF Open Networking Foundation

RTFM Read the f... manual

SDN Software-Defined Networking : Réseau Informatique Défini par Logiciel

SI Système d'Information

TI Technologie de l'Information

VLAN Virtual Local Area Network, Virtual LAN

VM Virtual Machine, Machine Virtuelle

WAN Wide Area Network, Réseau étendu

SDN : Software-Defined Netowrking

rédigé par Cynthia LOPES DO SACRAMENTO

Résumé

Résumé en français ...

Mots clés : SDN, Réseaux Programmables, Plan de Contrôle, Plan de Données, Système d'Exploitation Réseau

Abstract

Résumé en anglais ...

Keywords : SDN, Programmable Networks, Control Plane, Data Plane, Network Operating System
