

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 Enjeux imposant des choix d'implémentation	10
3 Possibilités des Applications de SDN	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
Conclusion	23
Bibliographie	25
Glossaire	33
Acronyms	35

Liste des tableaux

3.1	Opportunités et Challenges adressés par SDN [35]	11
4.1	Produits SDN et les principaux fournisseurs [50]	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 [38]	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 supports : l'accès s'est étendu des ordinateurs de bureau à une variété de nouveaux dispositifs, comme 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'informatique. [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, 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 sécurisées 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 émergents. 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'utilisations 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 l'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 et 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 ces 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, 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 particulièrement 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

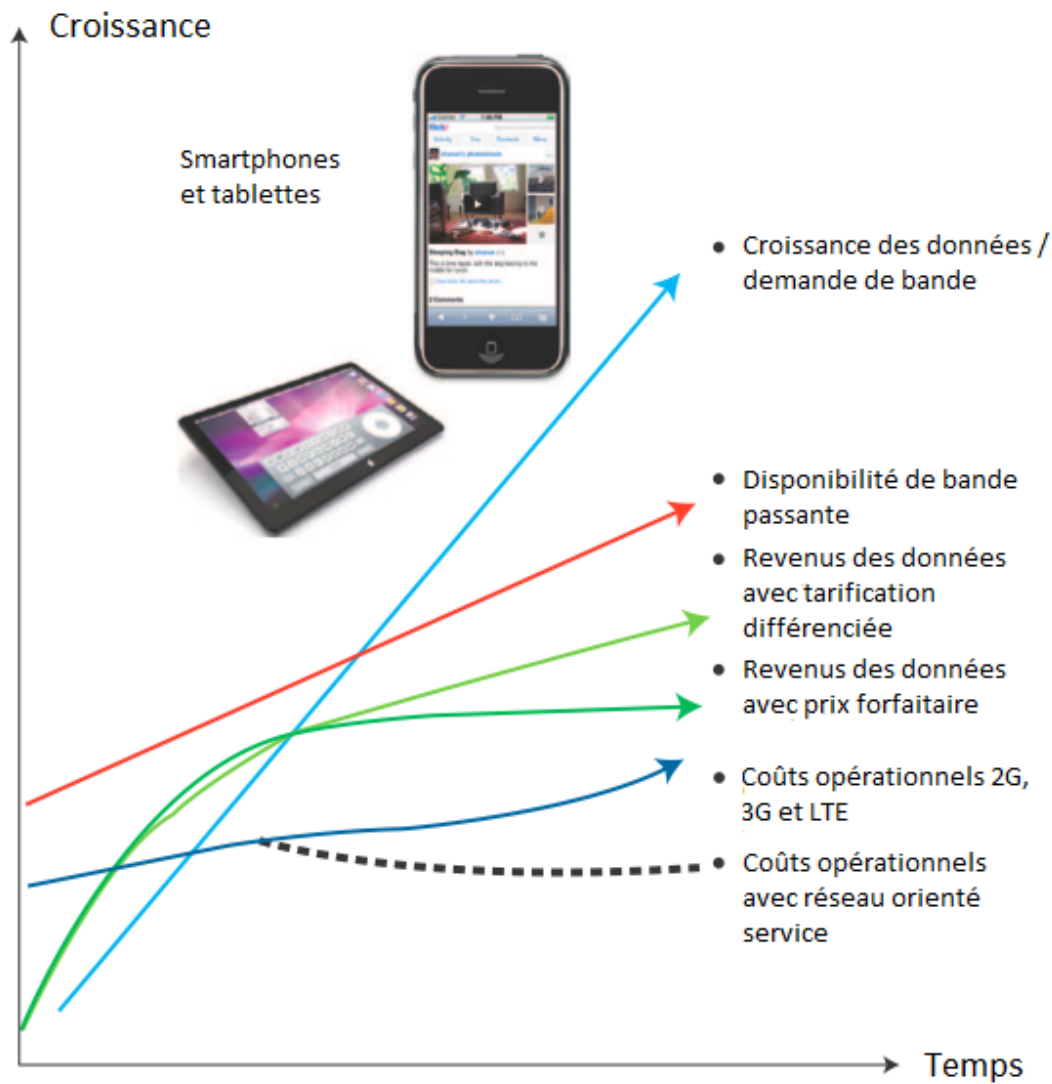


FIGURE 1.1 – Pression croissante sur l'infrastructure réseau [16]

l'opération du réseau et son management 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 ; de plus, cet état a 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 **Quality of Service, Qualité de service (QoS)** 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 présentés dans le chapitre 1. Cette problématique a amené scientifiques et ingénieurs 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 de 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 ont servi de base pour ce paradigme qu'on développe et supporte aujourd'hui : **SDN**.

Au cours de cette étude, **SDN** est défini 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 de la configuration d'un nœud et de 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. L'absence 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 finissent

par 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 nombreuses **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.

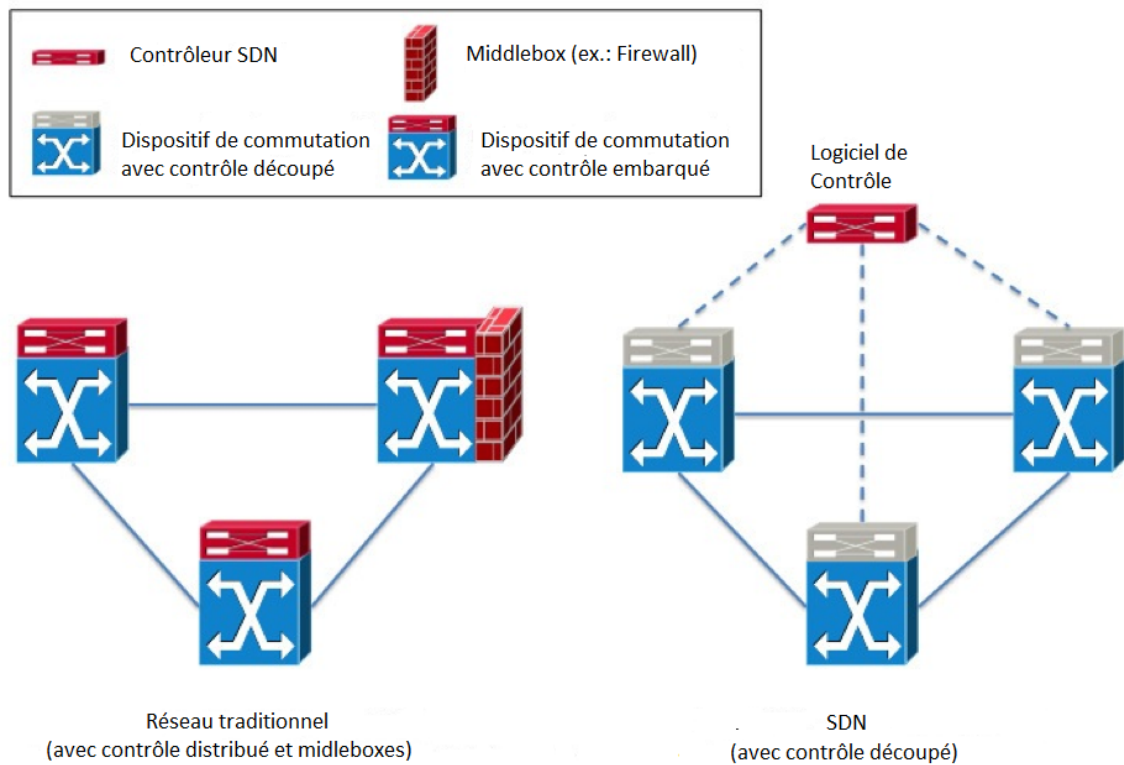


FIGURE 2.1 – L'ensemble de l'Architecture Traditionnelle et SDN [15]

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.

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. 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 globale du réseau qu'il peut fournir et la simplification de sa programmation. 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 avec les éléments voisins pour acquérir des informations pertinentes sur le réseau et prendre les décisions de commutation des paquets entrants. **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. 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 implique également le traitement des bouclages de diffusion entre les voisins. Tandis qu'avec SDN, la prise de décision est centralisée, ce qui évite donc la gestion de ces échanges et l'exécution multiple de ces algorithmes qui n'est réalisée qu'une fois dans le contrôleur.

La technologie SDN permet aussi de traiter les enjeux des périmètres réseaux flous. Les vagues frontières empêchent de déterminer où placer des dispositifs de sécurité, tels que firewall. SDN permet le transfert de tout trafic vers 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]

Divers avantages et possibilités dérivent de ce changement architectural, comme la simplification du matériel qui apporte une meilleure utilisation de ressources réseau. Les technologies SDN offrent la capacité de faire évoluer l'architecture du réseau pour répondre à l'explosion des données mobiles et pour fournir un environnement supportant la création de nouveaux services et de nouvelles sources des revenus. Cela représente une opportunité pour profiter des consommations phénoménales et des dynamiques sociales qui affectent l'industrie aujourd'hui. [30] Le chapitre 3 examine les opportunités les plus espérées et les applications associées. Pourtant, l'implémentation comprend des enjeux dont le traitement impose des choix discutés ensuite.

2.3 Enjeux imposant des choix d'implémentation

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 les 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 une 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. [31]

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 aptes à SDN et les nœuds traditionnels intégrés. Cette interopérabilité requiert le support d'un protocole introduisant les capacités de SDN tout en fournissant la rétrocompatibilité avec les technologies en place. [32]

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 distribué ou quand les demandes de flux sont très dynamiques. En revanche, avec les politiques proactives le débit des flux peut être considérablement augmenté. Toutefois, l'évolution du contrôleur devient un souci lorsqu'il est nécessaire 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. La solution doit être choisie selon les besoins au cas par cas. [15] [33]

La meilleure approche pour l'implémentation de SDN doit comprendre les compromis entre les divers modèles en l'adaptant aux particularités du scénario d'exploitation. SDN veille pour cette flexibilité et apporte des nombreux cas d'utilisation, discutés dans le chapitre suivant.

Chapitre 3

Possibilités des Applications de SDN

Une infinité d'applications et de cas d'utilisations 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. [34]

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 [35]

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

Dans le même sondage, les participants ont répondu que si leurs organisations implémentaient SDN dans les deux ans qui suivent, ce serait plus probable que ce soit : sur **data center** (54%), section et/ou campus (26%), WAN (23%) ou pas d'implémentation SDN (11%) [36]. Par conséquent, les applications présentées ci-après sont classées en fonction de ces trois cibles de déploiement.

3.1 Data Center

Virtual Local Area Network, Virtual LANs (VLANs) :

SDN peut facilement fournir aux utilisateurs leurs propres réseaux isolés, comme les VLANs. L'approche la plus simple est de déclarer statiquement les ensembles de flux 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 utiliser les informations sur leur localisation pour marquer le trafic à la volée. [37]

Raccordement réseau de deux data centers :

SDN permet de relier des réseaux au niveau de la couche 2 à travers de multiples data centers, les connectant comme s'ils étaient dans un seul réseau. Avec cette fonctionnalité, les architectes d'applications peuvent par exemple placer leurs "compute clusters" plus près de leur point d'usage et supporter une récupération efficace après incident. [38]

Répartition de charge et sécurité :

FlowScale est une application basée sur OpenFlow qui fournit la répartition de charge du trafic réseau en utilisant le switch OpenFlow. L'application a été utilisée dans un système **IDS** pour distribuer le trafic uniformément aux capteurs. Lorsqu'il sera complètement déployé, le système sera capable de distribuer le trafic à de taux dépassant 500Gb/s. [39]

Economie d'énergie :

ElasticTree est un gestionnaire d'énergie pour le réseau. Le projet utilise SDN pour trouver la configuration réseau plus économique qui satisfera 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 [40]. 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 [41].

Applications sur Cloud Computig :

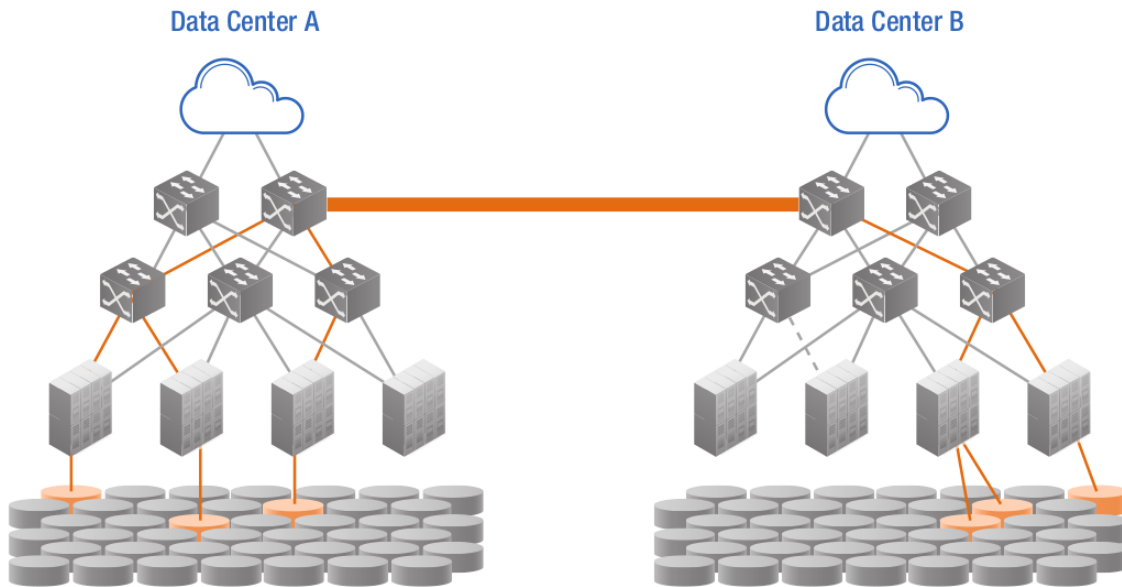


FIGURE 3.1 – Raccordement réseau de deux Data Centers [38]

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 du contrôle du réseau et fournir certains niveaux d'abstraction aux utilisateurs finaux, leur permettant de configurer leur partie de réseau. De plus, les offres clouds basées sur SDN pourront fournir des services de bande passante sous demande, avec un approvisionnement automatisé et intelligent, dirigés par une logique d'orchestration cloud et par les besoins des clients. [42]

Les applications sur l'automatisation de services réseaux dans les data centers sont celles les plus espérées et où on trouvera plus des offres par le marché, comme il sera présenté dans le chapitre suivant.

3.2 Campus et grands réseaux

Souvent les entreprises opérant des grands réseaux ont des requis stricts de performance et sécurité qui peuvent varier largement selon divers facteurs. Par exemple, les réseaux des universités sont considérés comme un cas spécial des réseaux d'entreprises : dans cet environnement, plusieurs dispositifs connectés sont temporaires et ne sont pas contrôlés par l'institution, mettant en outre 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 et ainsi 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 les flux soient en conformité avec un ensemble de règles, telles 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 leurs 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 utilisés pour la connexion.

Connexion sans fils mobile.

Plusieurs tentatives ont été focalisées 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. [37]

3.3 WAN

Dans un **Wide Area Network, Réseau étendu (WAN)**, la centralisation permet le calcul déterministe et optimal de routes pour chaque flux avec l'utilisation d'un modèle complet de la topologie bout-en-bout du réseau. L'allocation de bande passante peut être contrôlée dynamiquement à la demande lors des changements de trafic. Le résultat peut être une meilleure utilisation du réseau sans sacrifier la qualité de service. Le traitement centralisé de route permet aussi de pré-déterminer les routes alternatives pour chaque lien en cas de failles. On peut profiter de la puissance de traitement des processeurs à multiples cœurs et/ou des **clusters** pour le calcul de routes et le traitement des flux. Cette application correspond à une de trois plus attendues d'après le sondage. [34]

Avec SDN, le trafic WAN peut être aussi dynamiquement re-routé pour réduire/contrôler la latence des applications sensibles, comme VoIP. La charge du trafic peut être également répartie sur des chemins parallèles à différents coûts. La mesure des flux en temps réel permettrait de limiter le débit ou de modifier la transmission pour optimiser la performance des applications. Par exemple, le contrôleur peut configurer un switch compatible pour modifier les marquage **QoS** afin de changer les priorités sur les chemins point-à-point restants. La récupération des liens échoués peut être atteinte avec la sélection dynamique de chemins, tenant compte des mesures de performance, des états de ports et des niveaux d'utilisations par les nœuds.

Un exemple pratique d'une application réelle de SDN a été présentée par Google. L'entreprise a présenté dans la conférence "Open Network Summit" [43] une implémentation à grande échelle d'un réseau SDN connectant des **data centers** partout dans le monde. Le travail, intitulé B4 [44], présente en détails la conception, l'implémentation et l'évaluation de ce réseau connectant les **data centers** Google géographiquement distribués. Le travail décrit un de premiers et plus grands déploiements SDN. Sa motivation a été le besoin pour des routes et l'ingénierie de trafic personnalisées ainsi que le haut niveau de **scalabilité**, tolérance aux failles, rentabilité et contrôle requis et ne pouvant pas être accomplis avec l'architecture WAN traditionnelle. La solution a proposé une architecture SDN basée sur OpenFlow construite pour contrôle des switches particuliers. Après trois ans en production, B4 se montre efficace dans le sens qu'il dirige des nombreux liens avec une utilisation à près de 100% et en même temps partageant les flux sur des multiples chemins. [45]

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. [46]

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. [47]

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 [48] propose une liste représentative des principaux vendeurs. ONF divulgue une liste de produits SDN soumis par ces membres [49].

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**. [50] 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.

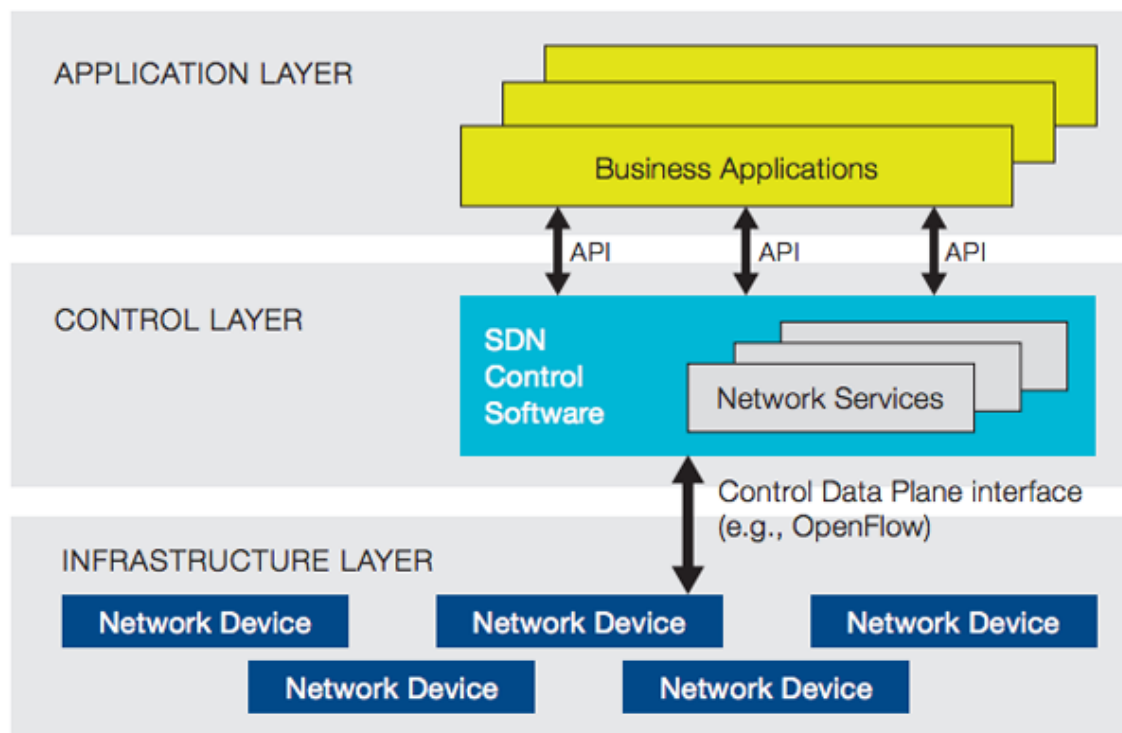


FIGURE 4.1 – Architecture OpenFlow SDN par ONF [3]

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 [50]

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. [51]

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. [52]

4.3 Cisco ONE, hardware programmable

Cisco a annoncé en novembre 2013 **Application Centric Infrastructure, Infrastructure centrée sur les applications (ACI)** soutenue par l'investissement de 863 millions de dollars pour l'acquisition de Insieme Networks. La start-up développe des réseaux programmables et flexibles pour le cloud et les data centers hautement virtualisés. **ACI** est une architecture holistique pour l'automatisation de profils d'application dirigés par politiques centralisés. Le but est d'apporter flexibilité aux logiciels avec "scalability" et performance hardware.

La solution concrétise **Open Network Environment, Environnement Réseau Ouvert (ONE)**. Annoncée précédemment, **ONE** est une solution complète pour aider les réseaux à devenir plus ouverts, programmables et sensibles aux applications. L'offre inclue une nouvelle ligne de 9000 switches avec un contrôleur capable de gérer les infrastructures physiques et virtuelles. **ACI** est disponible sur le marché pour \$75000 avec 288 ports. [53]

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 pas 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 Programmations (APIs)** qui permettent aux applications d'interagir directement avec le réseau. [54]

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 sont

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. [55]

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. [56]

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. [57]

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. [58]

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. [59]

Conclusion

Même avec le succès incontestable de l'architecture d'internet, l'état de l'industrie réseau et l'essence de son infrastructure se retrouvent en phase critique. 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 effet, on constate un réel besoin de faire évoluer cette architecture mais aussi des résistances contraignant cette évolution dues à la complexité et la possible saturation du système. En réponse, les réseaux programmables ont été objet intensif de recherche par la communauté. Les travaux dans le domaine ont progressé vers la proposition de SDN, un nouveau paradigme transformant cette architecture.

L'approche SDN découpe le plan de contrôle et le plan données, offrant un contrôle et une vision centralisés du réseau. Cela peut apporter certains bénéfices comme le contrôle directement programmable, la simplification du hardware réseau et la simplification de l'ingénierie du trafic. En revanche, des challenges d'implémentation sont à surmonter tels que la concentration des risques dans un contrôle physiquement centralisé, l'équilibre entre flexibilité et performance et les conditions d'interopérabilité.

La flexibilité apportée par SDN est telle que de nombreuses possibilités d'applications sont à imaginer. Essentiellement le management de data centers, le contrôle d'accès et de la mobilité pour les réseaux campus ainsi que l'ingénierie du trafic pour les réseaux WAN.

Le marché suit de près les nouveautés dans le domaine et investit sur les technologies implémentant SDN. Les stratégies sont pas encore assez matures et les potentiels consommateurs attendent des offres plus consolidées. Cependant, des solutions innovantes commencent à surgir et certaines organisations assument un rôle de tête dans le marché.

On s'aperçoit que l'ampleur des possibilités SDN même si un avantage en théorie, frein son adoption. Dû à la massive variété des concepts et produits, les consommateurs hésitent toujours à prendre des décisions. Au même temps, les grands fournisseurs cherchent à la fois à exploiter le nouveau marché et à protéger leurs solutions consolidées. Cet impasse même si confirmé, ne semble pas être assez fort pour empêcher les échanges à long terme.

En caractère personnel, cette étude conclue qu'au futur proche, les clients les plus informés et les plus prêt à innover vont commencer à déployer SDN. Vu que leurs expériences et résultats peuvent fortement impacter les choix des prochains consommateurs, il est possible que les premiers à se lancer seront ceux qui vont peindre le futur de la technologie des réseaux informatiques pour les prochaines années. Cette démarche peut représenter un risque au cas échéant, mais aussi l'opportunité d'en tirer des bénéfices plus durables et de prendre de parts plus larges du marché.

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] Tieto INTEL. *Carrier Cloud Telecoms – Exploring the Challenges of Deploying Virtualisation and SDN in Telecoms Networks*. White Paper. Section Summary and Conclusions. 2013.
- [31] 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.
- [32] Lav GUPTA. *SDN: Development, Adoption and Research Trends : A Survey of Research Issues in SDN*. Paper. Section 2 Implementation issues in SDN. Déc. 2013.
- [33] 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.
- [34] *The 2013 Guide to Network Virtualization and SDN*. White Paper. Section Potential SDN Use Cases. Déc. 2013.
- [35] *The 2013 Guide to Network Virtualization and SDN*. White Paper. Table 11: Opportunities and Challenges that SDN Can Address. Déc. 2013.
- [36] *The 2013 Guide to Network Virtualization and SDN*. White Paper. Table 12: Focus of SDN Deployment. Déc. 2013.
- [37] 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>.

- [38] *OPEN DATA CENTER ALLIANCE Master USAGE MODEL: Software-Defined Networking Rev. 1.0*. White Paper. Section Usage Scenarios. 2013.
- [39] InCNTRE Indiana University KEITH LEHIGH Information Security Office Indiana University; Ali Khalfan. *Multi-Gigabit Intrusion Detection with OpenFlow and Commodity Clusters*. Project. 2012.
- [40] 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.
- [41] 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.
- [42] Lav GUPTA. *SDN: Development, Adoption and Research Trends : A Survey of Research Issues in SDN*. Paper. Section 3 SDN and cloud computing. Déc. 2013.
- [43] Lav GUPTA. *Inter-datacenter wan with centralized te using sdn and openflow*. Conférence. Avr. 2012.
- [44] Sushant JAIN et al. « B4: Experience with a globally-deployed software defined WAN ». In : *Proceedings of the ACM SIGCOMM 2013 conference on SIGCOMM*. ACM. 2013, p. 3–14.
- [45] 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.
- [46] *ONF, Open Networking Foundation*. White Paper. Open Networking Foundation. Sept. 2013.
- [47] *Executive's guide to software- defined networking*. White Paper. Pages 17 et 18, The Linux Foundation unifies software- defined networking powers. Juin 2013.
- [48] *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.
- [49] *SDN Product Directory*. <https://www.opennetworking.org/sdn-resources/onf-products-listing>. ONF. 2014.
- [50] *The 2013 Guide to Network Virtualization and SDN*. White Paper. Chapitre 3: The NV and SDN Ecosystem. Déc. 2013.
- [51] *Executive's guide to software- defined networking*. White Paper. Pages 15 et 16, HP predicts SDN will go mainstream in 2015. Juin 2013.
- [52] *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.

- [53] Rivka Gewirtz LITTLE. *Insieme at last! SDN fabric with Cisco ACI and Nexus 9000 switches*. Web Site. <http://searchsdn.techtarget.com/news/2240208657/Insieme-at-last-SDN-fabric-with-Cisco-ACI-and-Nexus-9000-switches>. Nov. 2013.
- [54] Reema Prasad - Solutions Architect MARK MITCHNER - SOLUTIONS ARCHITECT. *Software-Defined Networking and Network Programmability: Use Cases for Defense and Intelligence Communities*. White Paper. Cisco. 2014.
- [55] *Executive's guide to software- defined networking*. White Paper. Pages 19 à 22. Juin 2013.
- [56] 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.
- [57] *Executive's guide to software- defined networking*. White Paper. Page 24, SDN gets a commercial boost from Big Switch Networks. Juin 2013.
- [58] REUTEURS. *Big Switch Networks launches first commercial product*. Web Site. <http://www.reuters.com/article/2012/11/13/bigswitchnetworks-sdn-idUSL1E8MD05D20121113>. Nov. 2013.
- [59] 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.
- [60] Thomas Nadeau D. et Ken GRAY. *SDN: Software Defined Networks*. 1st. O'Reilly Media, Inc., 2013. ISBN : 1449342302, 9781449342302.
- [61] Bruno Nunes ASTUTO et al. *A Survey of Software-Defined Networking: Past, Present, and Future of Programmable Networks*. Anglais. Jan. 2014.
- [62] 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>.
- [63] 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.
- [64] G. DOSI. *Technological paradigms and technological trajectories, Research Policy*. Anglais. 1982.
- [65] 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>.

- [66] 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>.
- [67] 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>.
- [68] 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.
- [69] Michael KENDE. *Internet global growth: lessons for the future*. Analysys Mason Limited, London, United Kingdom. Sept. 2012.
- [70] Michael KENDE. *How Internet continues to sustain growth and Innovation*. Analysys Mason Limited and Internet Society (ISOC), London, United Kingdom. Oct. 2012.
- [71] *Managing the growing pains in today's expanding networks*. White Paper. Figure 1. Jan. 2012.
- [72] 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>.
- [73] Fei HU. *Network Innovation through OpenFlow and SDN: Principles and Design*. CRC Press, 2014.
- [74] *Executive's guide to software-defined networking*. White Paper. Page 17. Juin 2013.
- [75] *The 2013 Guide to Network Virtualization and SDN*. White Paper. Chapitre 3: The NV and SDN Ecosystem. Déc. 2013.
- [76] *Open Daylight Project*. Web site. <http://www.opendaylight.org/project>. Avr. 2014.
- [77] *Open Source Initiative*. Web site. <http://opensource.org/>. Avr. 2014.
- [78] *OPEN DATA CENTER ALLIANCE Master USAGE MODEL: Software-Defined Networking Rev. 1.0*. White Paper. 2013.
- [79] Lav GUPTA. *SDN: Development, Adoption and Research Trends : A Survey of Research Issues in SDN*. Paper. Section 2 Implementation issues in SDN. Déc. 2013.
- [80] CISCO. *Cisco Application Centric Infrastructure*. Web Site. <http://www.cisco.com/c/en/us/scenter-virtualization/application-centric-infrastructure/index.html>. Mar. 2014.

- [81] André B. BONDI. « Characteristics of Scalability and Their Impact on Performance ». In : *Proceedings of the 2Nd International Workshop on Software and Performance*. WOSP '00. Ottawa, Ontario, Canada : ACM, 2000, p. 195–203. ISBN : 1-58113-195-X. DOI : 10.1145/350391.350432. URL : <http://doi.acm.org/10.1145/350391.350432>.
- [82] René J CHEVANCE. « Serveurs multiprocesseurs et SGBD parallélisés ». In : *Techniques de l'ingénieur. Informatique H2068* (2001), H2068–1.
- [83] Robert M. KELLER. *Computer Science: Abstraction to Implementation, Section 1.1 The Purpose of Abstraction*. Article. Harvey Mudd College. Sept. 2001.

Glossaire

Abstraction Dans l'informatique, l'abstraction est un terme souvent employé pour désigner le mécanisme et la pratique qui réduit et factorise les détails négligeables de l'idée exprimée pour que l'on puisse focaliser sur moins de concepts à la fois. On voit aussi l'idée de couches d'abstraction utilisée comme un moyen pour gérer la complexité des systèmes informatiques où les couches correspondent à des niveaux de détails appliqués. [83]

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

Cluster Cluster est un ensemble d'ordinateurs.

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. [67]

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. [76]

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. [77]

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] [62]

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. [63] D'après Dosi [64], 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]

Scalabilité Terme provenant de l'anglicisme *scalability* qui exprime la capacité d'être mis à échelle. En informatique cela désigne la capacité d'un système, d'un réseau ou un processus de gérer l'augmentation ou la réduction de la charge de manière à pouvoir l'accommoder. [81]. Le terme est souvent employé tant que extensibilité, évolutivité ou passage à l'échelle, mais il n'y « a pas d'équivalent communément admis en français ». [82]

Virtualisation La Virtualisation est y

Acronyms

ACI	Application Centric Infrastructure, Infrastructure centrée sur les applications
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
QoS	Quality of Service, Qualité de service
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 Networking

rédigé par Cynthia LOPES DO SACRAMENTO

Résumé

De nouvelles technologies et concepts émergent pour répondre aux nouvelles utilisations des réseaux et d'internet. Telles que le Big Data, paru pour le traitement des énormes quantités de données ou le Cloud Computing pour le management de l'hébergement de ressources. Une évolution similaire est attendue dans le domaine des réseaux informatiques. Ce qui a mobilisé la communauté dans les projets de recherche sur les réseaux programmables, dont le sujet de cette étude : SDN - Réseaux Informatiques Définis par Logiciel. SDN est un nouveau paradigme conçu pour adapter les infrastructures courantes aux enjeux de la communication actuelle : une plus haute bande passante et les exigences des applications modernes. SDN propose une nouvelle architecture plus dynamique, facile à gérer, rentable et flexible. Cette architecture découpe le plan de contrôle (intelligence et état du réseau) du plan de données (fonctions de transmission). L'approche permet de rendre le contrôle directement programmable avec l'infrastructure sous-jacente abstraite aux applications réseaux et services.

Mots clés : SDN, Réseaux Programmables, Plan de Contrôle, Plan de Données

Abstract

New technologies and concepts appear in response to new network and internet usage requirements. Such as Big Data for massive data processing and Cloud Computing for resources hosting management. Similar evolution is expected for the computer networks. As result the research community has produced many works on programmable networks. Among them, the subject of this study : SDN - Software Defined Networking. SDN is a new paradigm designed to adapt current infrastructures to the issues of the recent communication : increasingly need for high speed and the exigences of modern applications. SDN proposes a new architecture plus dynamic, ease to manage, profitable and flexible. This architecture decouples the control plane (network intelligence and state) from the data plane (transmission functions). This approach makes de the control directly programmable and causes the underlying infrastructure to be abstracted to network applications and services.

Keywords : SDN, Programmable Networks, Control Plane, Data Plane
