

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 : Pénible 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	10
3. Des Applications de SDN et leurs possibilités	11
3.1. Management du Réseau et Contrôle d'Accès	11
3.2. VLANs	11
3.3. Clients mobiles sans fil VoIP	11
4. Solutions SDN disponibles	13
4.1. Un point sur la situation	13
4.2. Écosystème SDN HP, gamme de solutions virtualisées Data Center	15
4.3. Cisco ONE, hardware programmable	15
4.4. Virtualisation : Big Switch Controller et VMWare NSX	16
4.5. Brocade Ethernet Fabric, Fibre Channel support over Ethernet	17
4.6. Juniper MetaFabric Architecture	17
Conclusion	19
A. Première annexe	21
Bibliographie	23
Glossaire	29
Acronyms	31

Liste des tableaux

Table des figures

1.1.	Pression croissante sur l'infrastructure réseau [14]	5
2.1.	L'ensemble de l'Architecture Traditionnelle et SDN [13]	8
4.1.	Arhitecture OpenFlow SDN par ONF [24]	14

Introduction

On cherche à concevoir une architecture plus adaptée aux enjeux de la communication actuelle. Cette problématique a amené les scientifiques et les ingénieurs impliqués à concevoir **Software-Defined Networking, Réseau Informatique Défini par Logiciel (SDN)**. **SDN** est un nouveau **paradigme** réseau qu'on est actuellement en cours de développer pour adapter l'infrastructure existante aux nouveaux scénarios. [1]

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

- Le contenu a évolué de texte et pages web relativement statiques, il a progressé vers un contenu multimédia haut-débit exigeant une latence réduite.
- 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 [2].
- 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. [3].

Fait important : la rapidité d'une telle évolution technologique et son adoption sont sans précédent dans l'histoire de l'humanité. [2].

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 dessus plus d'un milliard de photos. [4]. Dans ce contexte, on met en cause la capacité d'internet, comme il est, de continuer à fournir l'infrastructure nécessaire. [5]

De nouvelles technologies et concepts émergent pour répondre aux nouveaux besoins de ces 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 les entreprises de gérer la quantité massive de données manipulées. [6] 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. [7]. Pour accompagner ces évolutions, une innovation technologique dans le domaine des réseaux informatiques est requise. [8]

Les acteurs impliqués dans ce secteur se sont unifiés pour à la conception et 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.

[un paragraphe pour le plan du texte (de quoi parle chaque section)]

Chapitre 1.

Problématique Réseau et SDN

Ce chapitre reprend les problèmes réseaux rencontrés pour 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 que la saturation des adresses IPv4 disponibles et les menaces aux réseaux locaux privés.

En réponse à ces questions, on a introduit dans l'architecture des **middleboxes**, par exemple les NATs et les Firewalls, à un prix : la complexité. Le logiciel dans ces systèmes 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 de l'internet, les applications en réseau sortantes ont été rendues difficiles à concevoir, à mettre en place et à maintenir. [9]

Internet est vu aujourd'hui comme une infrastructure critique de la société, tels que le transport et l'électricité. Cela provoque une résistance aux essais des nouvelles applications en parallèle à celles en mode de production. Ce fait a mené la communauté de chercheurs en réseau à être convaincus 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. [10] [11]

Actuellement internet compte avec 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 des centaines de milliards de fois. [12]

En revanche, 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 de 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. Par conséquent, une fois déployés et en production, il est assez difficile dans cette infrastructure courante de faire évoluer les protocoles et services existants et encore plus difficiles d'en mettre en place des nouveaux. Internet étant un réseau de réseaux est plus concerné par ce point. [13]

On se rend compte que l'adoption de nouvelles idées dans le domaine des réseaux reste complexe. Finalement, les ingénieurs comptent avec 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. Cette barrière à l'évolution en face des besoins d'expansion des utilisateurs actuels confirme la croyance répandue que l'infrastructure réseau "est en phase d'ossification". [10]

1.2. Management Réseau : Pénible et Complexe

Cette résistance empêchant 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 visualiser dans le 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 la mis en échelle de ces besoins, et donc le management assume en rôle primordial dans ce contexte. [14]

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. [15]

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 provoque le besoin pour une approche système englobant la simulation. Avec l'interface de programmation courante des équipements réseau d'aujourd'hui, cela est difficile d'atteindre. De plus, les coûts opérationnels impliqués à l'approvisionnement et au management de réseaux larges et multi-vendeurs couvrant plusieurs technologies ont augmenté récemment, alors que les revenus se diminuent. [16]

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

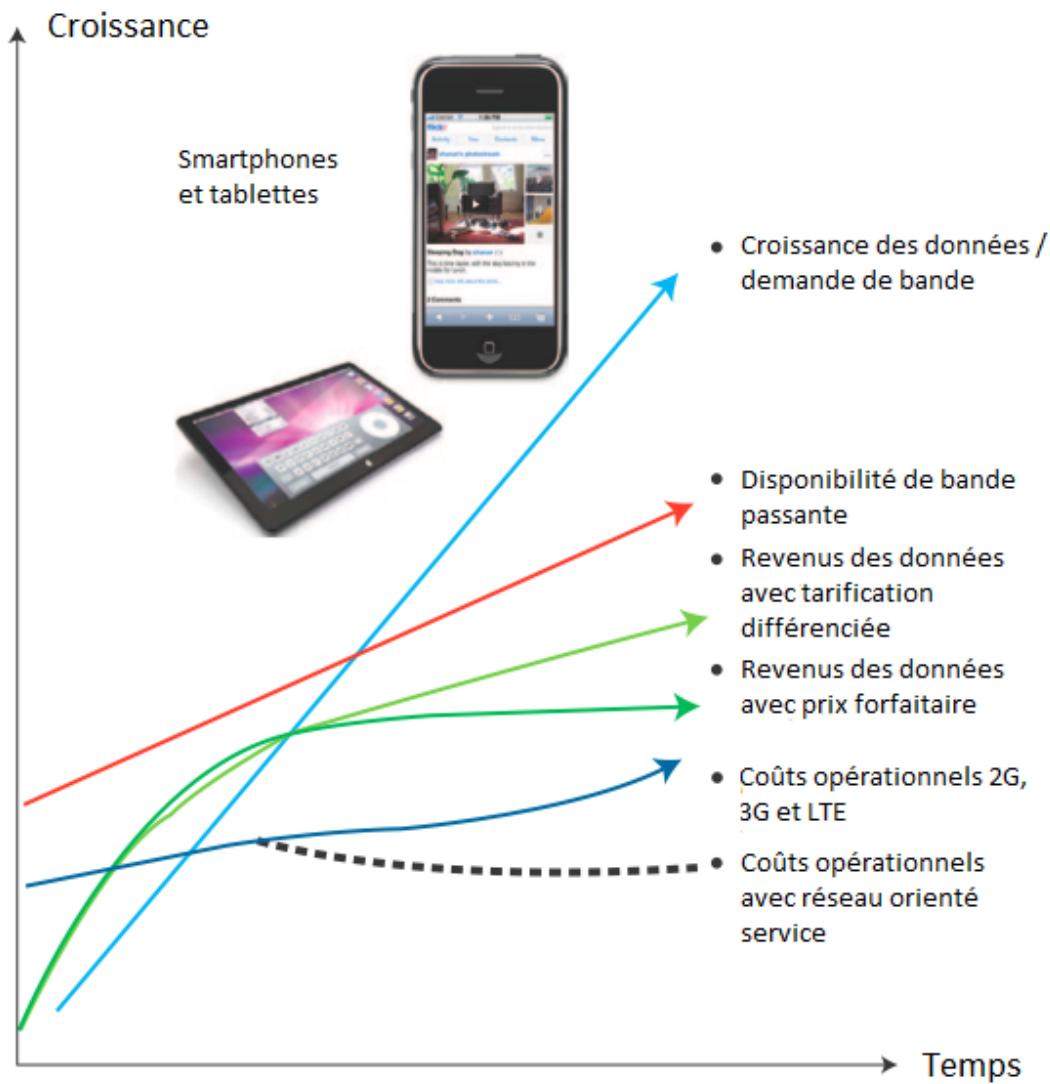


FIGURE 1.1. – Pression croissante sur l'infrastructure réseau [14]

réseau ne facilitent pas la prédictibilité entre les relations de cause-effet. On réalise que 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. [17]

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 partout accepté que les réseaux courants sont excessivement chers, compliqués à gérer, sujets aux blocages des fournisseurs et difficiles à évoluer. En plus, cette condition a bien duré plus d'une décade. [18]

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

- La sécurité : la manque de sécurité est assez inquiétante à tout niveau : des utilisateurs, aux développeurs aux 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 aux 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 de fabricant sont requises.
- L'évolution : certaines parties de l'architecture courante semblent être saturées, comme le système de routage.
- La qualité de service : il est toujours incertain le moyen d'intégrer différents niveaux de qualité de service.
- L'économique : outre toutes les questions techniques, il reste aussi la question de comment les opérateurs pourront continuer à tirer profit.

[19]

L'infrastructure réseau actuelle ne satisfait pas à aucun de ces objectives. [18] 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. [20]

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 internet et les réseaux en général de continuer à évoluer et supporter les applications qui répondent aux nouveaux besoins des utilisateurs. Basée sur diverses propositions qui émergent depuis quelques années d'études et recherches, **SDN** semble avoir été choisi par la communauté s'appuyant sur le support des grands leaders du marché. [11]

Chapitre 2.

Réseaux programmables avec SDN

On cherche à concevoir une architecture plus adaptée aux enjeux de la communication actuelle discutés dans le chapitre 1. Cette problématique a amené scientifiques et les ingénieurs impliqués à concevoir **SDN**. **SDN** est un nouveau **paradigme** réseau qu'on est actuellement en cours de développer 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)

Ayant adressé cette problématique, la communauté réseau fait beaucoup d'efforts 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**. [10] Divers projets pour les réseaux programmables, comme NETCONF [21], Ethane [22], GENI [23] 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. [24]

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** fourni au hardware les informations nécessaires à la commutation. [25]

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 discuté dans le chapitre 1 est largement attribuée à ce fort couplage entre les deux plans provoquant que toutes les décisions sur les flux de données soient embarquées dans chaque élément réseau. La 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. [13]

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 consolidés dans le logiciel de contrôle. [13] [24]

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

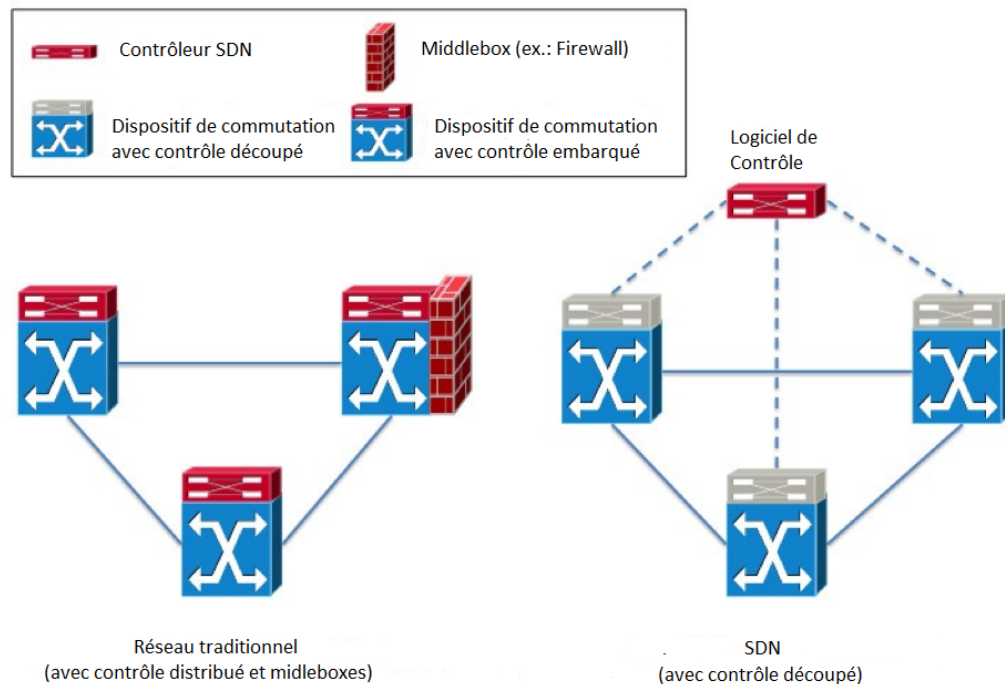


FIGURE 2.1. – L'ensemble de l'Architecture Traditionnelle et SDN [13]

Comme on voit dans l'image, traditionnellement chaque dispositif actif de l'infrastructure contient 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 exemples de ce modèle avec le contrôle distribué. Ces systèmes comptent avec l'échange de routes et d'informations de joignabilité qui résultent en **plans de données** programmés pour réaliser ces chemins. La haute disponibilité est fournie grâce à la redondance, avec l'ap-

proche "deux de tous" où on duplique chaque nœud permettant des chemins alternatifs lors de la faille d'un lien ou d'un élément. [26]

Dans le cas de SDN, le contrôle est centralisé et chaque dispositif réalise seulement la fonction de commutation. L'avantage sortant 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 prendre conscience de l'état de chaque nœud, mais d'interagir avec un contrôle unique s'en occupant de ces détails. [26]

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. [27]

La séparation des plans de contrôle et de données leur permet d'évoluer indépendamment. Les éléments de commutation deviennent plus stables ayant un plus petit et moins volatile code de base. 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. [28]

Avec le **plan de contrôle** et le **plan de données** embarqués, les éléments actifs échangent leurs paramètres à travers de 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 est faite qu'une fois dans le contrôleur. [26]

La technologie SDN peut aussi aider avec le challenge des périmètres réseaux flous. Les vagues frontières empêchent de déterminer où placer les dispositifs de sécurité, tels que firewall. SDN permet le routage de tout trafic à travers un firewall centralisé. Un avantage en plus 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**. [26]

2.3. Choix d'implémentation pour des challenges

Le premier point à noter pour l'implémentation de SDN impose les 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 sur la 'scalabilité' et la disponibilité. Un contrôle physiquement devient un point unique de failles pour tout le réseau et impose son remplacement lors d'une évolution. De cette manière, une topologie où le contrôle est logiquement centralisé mais physiquement distribué semble être plus logique. [26]

Un des objectifs de SDN est de développer des réseaux construits sur du matériel d'usage général. Avec une interface programmable sur du matériel standard, un réseau équipé avec des multiples fournisseurs devient une possibilité. Cependant, cette flexibilité impose un challenge quant à la performance. Avec un processeur d'usage général, les langages de programmation haut-niveau et divers outils de design fournissent une abstraction qui permet le développement rapide de sophistiquées fonctions 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. [29]

Chapitre 3.

Des Applications de SDN et leurs possibilités

Ce chapitre a pour but de présenter ce qui apporte SDN, quelles sont les applications pratiques de ce nouvel paradigme. Ce ne sera pas exhaustive, mais c'est pour exemplifier. Cela permettra aussi d'avoir une idée de l'exploitation future de SDN.

In August and September of 2013 a survey was given to the subscribers of Webtorials.

3.1. Management du Réseau et Contrôle d'Accès

Association des flux aux groupe d'utilisateur permettant de définir les politiques d'accès à différents services.

3.2. VLANs

Réseaux isolés définis par flux.

3.3. Clients mobiles sans fil VoIP

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 principales 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 repenser en collaboration les réseaux informatiques et rapidement apporter au marché les solutions et les standards SDN. Avec la collaboration 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 avec plus de 100 entreprises membres collaboratives, de toute taille et variété. [30]

ONF a fait des efforts de 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. Grands noms de l'industrie (comme Cisco, Microsoft, Google etc.) ont réalisé des produits supportant OpenFlow, comme des switches. [13]

Le fort support de l'industrie, de la recherche et des académies que **ONF** et sa proposition de **SDN** , **OpenFlow** , ont pu recueillir est assez expressif. 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. [11]

La fondation Linux avec son projet **Open Daylight** a introduit une plateforme **open source** guidée par la communauté et supporté 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 support 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 donner de ressources d'ingénierie logiciel et il vont aider à définir le future de cette plateforme SDN ouverte. Le point important à noter est l'union de forces des rivales de l'industrie. [31]

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 le vu traditionnelle de SDN, d'autres proposent leurs propres visions et offrent des produits dans ce contexte. Un article sur SearchSDN [32] propose une liste représentative des principaux vendeurs. ONF divulgue une liste de produits SDN soumis par ces membres [33].

Les catégories des produits varient aussi en fonction du segment 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 switchs offrent du matériel capable de communiquer avec un contrôleur SDN. Les spécialistes de la **virtualisation** offrent de solutions logiciel simulant de switchs ou routeurs SDN virtualisés. 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 accentuation des applications pour l'automatisation de **data center**. [34] 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.

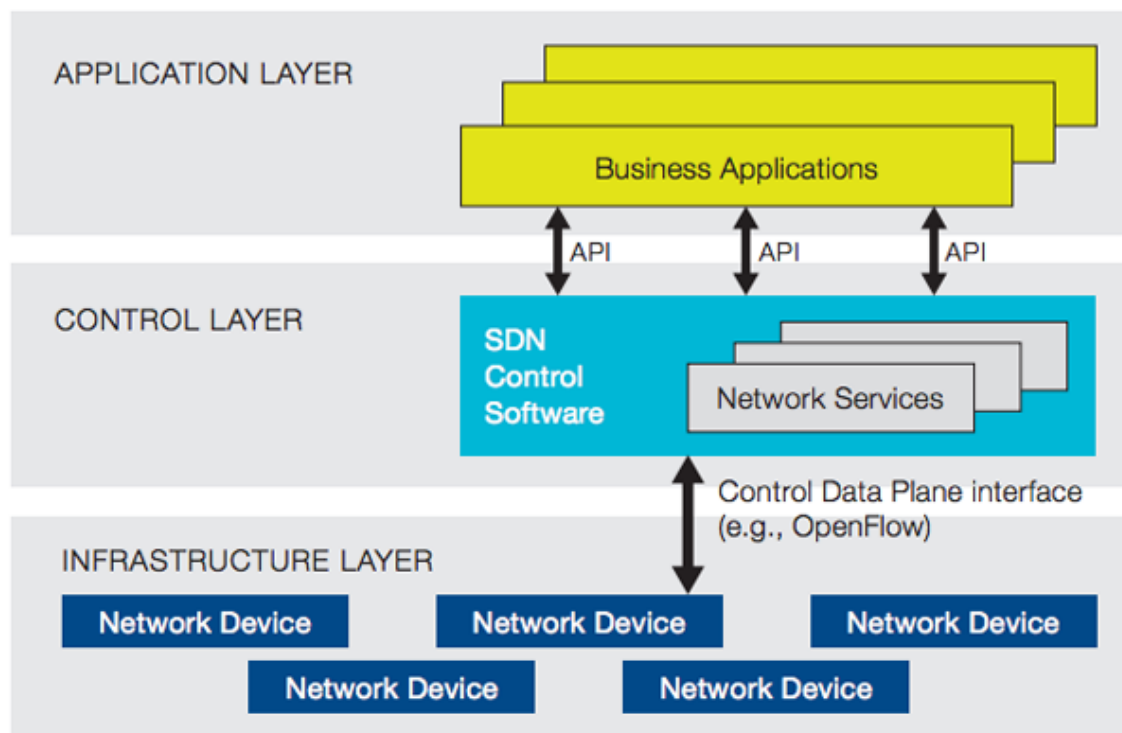


FIGURE 4.1. – Arhitecture OpenFlow SDN par ONF [24]

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

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

Les exécutives de Hewlett-Packard exposent les grandes lignes pour de stratégie SDN et de leur position face au marché en pariant sur l'adoption dominante de la technologie. HP espère que SDN sera largement déployé dans les entreprises en 2015 et qu'il représentera un marché de 2 milliard 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. [35]

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 si comparé à les autres solutions fabric dans le marché. En outre, HP affirme que sa solution fabric va réduire les délais de provisionnement de **data center** tout le long de quelques mois à seulement quelques minutes. Le portfolio des services SDN proposés par HP est assez solide, avec des produits ciblant des 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 **Virtual Machine, Machine Virtuelles (VMs)**

La suite d'offres SDN de HP est assez conséquente, avec produits qui ciblent divers points, 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 avec prix initial de \$46,000. [36]

4.3. Cisco ONE, hardware programmable

Cisco **Open Network Environment, Envrionnement 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 plus sophistiqués logiciels 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 manageable à travers

une interface centrale fournie. Cisco dénote ce modèle comme réseau centré sur les applications, parce l'organisation introduit des **Application Programming Interface, Interface de Programmmations (APIs)** qui permettent aux applications d'interagir directement avec le réseau. [37]

Cette vue 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 d'embarquer les informations sur le réseaux à partir du matériel vers un logiciel plus flexible de contrôle. Cela diffère de l'approche fédérée par **ONF** où ces informations s'écoulent au 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 pousser sa vue 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 au future. [38]

***Parler de l'acquisition de Insieme

4.4. Virtualisation : Big Switch Controller et VMWare NSX

Au sein des plus grands et établis vendeurs, il se peut que l'innovation soit plus difficile à aboutir. Ces entreprises ont déjà un modèle de business habituel à maintenir, ce qui est souvent contraignant au 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 porteurs. N'ayant pas cette contrainte, les start-ups spécialisant sur SDN ont eu la liberté de penser au réseau différemment et d'apporter des produits plus originales et innovants. Les start-ups conduisent certainement le 'quand' et le 'comment' des innovations sur les réseaux programmables. [39]

Les acquisitions de ces start-ups par les leaders du marché est devenu assez commun. VMWare présente sa solution NSX comme une plateforme de virtualisation du réseau pour "software-defined data center". La société a investi 1,3 milliards de dollars dans l'acquisition de Nicira, une entreprise spécialisée dans la virtualisation réseau. VMWare a intégré sa virtualisation a la technologie Nicira pour faire transiter l'information entre et autour des data centers. L'approche the 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. [40]

Son principale compétiteur 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 observée par des grands noms. Big Switch a annoncé en novembre son premier produit, un écosystème SDN permettant les 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. [41]

Dans son annonce Big Switch a sorti avec 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 de 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. [42]

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] Michael KENDE. *Internet global growth: lessons for the future*. Analysys Mason Limited, London, United Kingdom, section 4.3 Impact on developing countries. Sept. 2012.
- [3] *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.
- [4] *2 Years Later: The First Instagram Photo*. Postage d’un le blog officiel. 2013.
- [5] 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.
- [6] *Information Management and Big Data A Reference Architecture*. An Oracle White Paper. Fév. 2013.
- [7] *Intel’s Vision of Open Cloud Computing*. White Paper. Intel IT Center. 2013.
- [8] 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.
- [9] 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.

- [10] 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>.
- [11] Bruno Nunes ASTUTO et al. *A Survey of Software-Defined Networking: Past, Present, and Future of Programmable Networks*. Anglais. Section 1. Introduction. Jan. 2014.
- [12] *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.
- [13] 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.
- [14] *Managing the growing pains in today's expanding networks*. White Paper. Section The need for management in an expanding network. Jan. 2012.
- [15] Sarah LOWMAN. « Central issues in network management ». In : (2010). Section Conclusion.
- [16] 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.
- [17] *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.
- [18] 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>.
- [19] 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>.
- [20] 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>.
- [21] *NETCONF Configuration Protocol*. RFC 4741. R. Enns. Déc. 2006.
- [22] Martin CASADO et al. « Ethane: Taking control of the enterprise ». In : *ACM SIGCOMM Computer Communication Review* 37.4 (2007), p. 1–12.

- [23] *GENI, Global Environment for Network Innovations*. Web site. <http://geni.net>. Fév. 2014.
- [24] *Software-Defined Networking: The New Norm for Networks, Section Executive Summary*. White Paper. Open Networking Foundation. Avr. 2012.
- [25] 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.
- [26] 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.
- [27] Ashley HU Fei et Gerrity. *Network Innovation through OpenFlow and SDN: Principles and Design*. Chapitre 1 - SDN/OpenFlow: Concepts And Applications. CRC Press, 2014.
- [28] 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.
- [29] 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.
- [30] *ONF, Open Networking Foundation*. White Paper. Open Networking Foundation. Sept. 2013.
- [31] *Executive's guide to software- defined networking*. White Paper. Pages 17 et 18, The Linux Foundation unifies software- defined networking powers. Juin 2013.
- [32] *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.
- [33] *SDN Product Directory*. <https://www.opennetworking.org/sdn-resources/onf-products-listing>. ONF. 2014.
- [34] *The 2013 Guide to Network Virtualization and SDN*. White Paper. Chapitre 3: The NV and SDN Ecosystem. Déc. 2013.
- [35] *Executive's guide to software- defined networking*. White Paper. Pages 15 et 16, HP predicts SDN will go mainstream in 2015. Juin 2013.
- [36] *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.
- [37] 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.

- [38] *Executive's guide to software- defined networking*. White Paper. Pages 19 à 22. Juin 2013.
- [39] 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.
- [40] *Executive's guide to software- defined networking*. White Paper. Page 24, SDN gets a commercial boost from Big Switch Networks. Juin 2013.
- [41] REUTEURS. *Big Switch Networks launches first commercial product*. Web Site. <http://www.reuters.com/article/2012/11/13/bigswitchnetworks-sdn-idUSL1E8MD05D2012> Nov. 2013.
- [42] Zeus KERRAVALA. *Highlights of Big Switch's long-awaited SDN announcement*. Web Site. <http://www.networkworld.com/community/blog/highlights-big-switchs-long-awaited-sdn-announcement>. Nov. 2013.
- [43] Thomas Nadeau D. et Ken GRAY. *SDN: Software Defined Networks*. 1st. O'Reilly Media, Inc., 2013. ISBN : 1449342302, 9781449342302.
- [44] Bruno Nunes ASTUTO et al. *A Survey of Software-Defined Networking: Past, Present, and Future of Programmable Networks*. Anglais. Jan. 2014.
- [45] Nick McKEOWN et al. « OpenFlow: Enabling Innovation in Campus Networks ». In : *SIGCOMM Comput. Commun. Rev.* 38.2 (mar. 2008). Section 2. THE OPEN-FLOW SWITCH, p. 69–74. ISSN : 0146-4833. DOI : 10.1145/1355734.1355746. URL : <http://doi.acm.org/10.1145/1355734.1355746>.
- [46] 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.
- [47] G. DOSI. *Technological paradigms and technological trajectories, Research Policy*. Anglais. 1982.
- [48] 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>.
- [49] 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>.

-
- [50] 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>.
 - [51] 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.
 - [52] Michael KENDE. *Internet global growth: lessons for the future*. Analysys Mason Limited, London, United Kingdom. Sept. 2012.
 - [53] Michael KENDE. *How Internet continues to sustain growth and Innovation*. Analysys Mason Limited and Internet Society (ISOC), London, United Kingdom. Oct. 2012.
 - [54] *Managing the growing pains in today's expanding networks*. White Paper. Figure 1. Jan. 2012.
 - [55] 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>.
 - [56] Fei HU. *Network Innovation through OpenFlow and SDN: Principles and Design*. CRC Press, 2014.
 - [57] *Executive's guide to software-defined networking*. White Paper. Page 17. Juin 2013.
 - [58] *The 2013 Guide to Network Virtualization and SDN*. White Paper. Chapitre 3: The NV and SDN Ecosystem. Déc. 2013.
 - [59] *Open Daylight Project*. Web site. <http://www.opendaylight.org/project>. Avr. 2014.
 - [60] *Open Source Initiative*. Web site. <http://opensource.org/>. Avr. 2014.

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. [6]

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. [50]

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. [9]

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. [59]

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. [60]

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. [13] [45]

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. [46] D'après Dosi [47], 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. [26]

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**. [26]

Virtualisation La Virtualisation est y

Acronyms

API Application Programming Interface, Interface de Programmation

IDS Intrusion Detection System, Système de Détection d’Intrusion

IP Internet Protocol, Protocole d’Internet

IPS Intrusion Prevention System, Système de Prévention d’Intrusion

MPLS MultiProtocol Label Switching, Commutation multi-protocoles par étiquettes

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

VM Virtual Machine, Machine Virtuelle

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
