

Software-defined network dans Proxmox

Ryan LAHFA, ÉCOLE NORMALE SUPÉRIEURE DE LA RUE D'ULM

Qui suis-je ?

Qui suis-je ?

Ryan LAHFA (ou Raito BEZARIUS sur Internet), responsable du club réseau à l'ENS Ulm.

- 8 ans d'expérience professionnelle en informatique¹

Et plus encore, sur <https://ryan.lahfa.xyz/about-me.html> :-).

¹Des FPGAs au développement web avec React.js, en passant par l'administration système avec NixOS ou la sécurité informatique bas-niveau.

Qui suis-je ?

Ryan LAHFA (ou Raito BEZARIUS sur Internet), responsable du club réseau à l'ENS Ulm.

- 8 ans d'expérience professionnelle en informatique¹
- Étudiant en 2A à l'ENS Ulm au département d'informatique et de mathématiques

Et plus encore, sur <https://ryan.lahfa.xyz/about-me.html> :-).

¹Des FPGAs au développement web avec React.js, en passant par l'administration système avec NixOS ou la sécurité informatique bas-niveau.

Qui suis-je ?

Ryan LAHFA (ou Raito BEZARIUS sur Internet), responsable du club réseau à l'ENS Ulm.

- 8 ans d'expérience professionnelle en informatique¹
- Étudiant en 2A à l'ENS Ulm au département d'informatique et de mathématiques
- « Entrepreneur d'Intérêt Général » au ministère de la Justice sur la numérisation de la chaîne pénale

Et plus encore, sur <https://ryan.lahfa.xyz/about-me.html> :-).

¹Des FPGAs au développement web avec React.js, en passant par l'administration système avec NixOS ou la sécurité informatique bas-niveau.

Qui suis-je ?

Ryan LAHFA (ou Raito BEZARIUS sur Internet), responsable du club réseau à l'ENS Ulm.

- 8 ans d'expérience professionnelle en informatique¹
- Étudiant en 2A à l'ENS Ulm au département d'informatique et de mathématiques
- « Entrepreneur d'Intérêt Général » au ministère de la Justice sur la numérisation de la chaîne pénale
- Professionnel du logiciel libre

Et plus encore, sur <https://ryan.lahfa.xyz/about-me.html> :-).

¹Des FPGAs au développement web avec React.js, en passant par l'administration système avec NixOS ou la sécurité informatique bas-niveau.

Qui suis-je ?

Ryan LAHFA (ou Raito BEZARIUS sur Internet), responsable du club réseau à l'ENS Ulm.

- 8 ans d'expérience professionnelle en informatique¹
- Étudiant en 2A à l'ENS Ulm au département d'informatique et de mathématiques
- « Entrepreneur d'Intérêt Général » au ministère de la Justice sur la numérisation de la chaîne pénale
- Professionnel du logiciel libre
- Passe son temps libre à numériser les mathématiques dans l'assistant de preuve Lean

Et plus encore, sur <https://ryan.lahfa.xyz/about-me.html> :-).

¹Des FPGAs au développement web avec React.js, en passant par l'administration système avec NixOS ou la sécurité informatique bas-niveau.

SDN c'est quoi ?

Un détour par la question de reconfiguration

Les ordinateurs sont connus pour être très reconfigurables, on peut:

- « reconfigurer » son navigateur, ses applications, son système d'exploitation ;

Visuellement: <https://appro.mit.jyu.fi/tools/biossimu/simu.html>

Un détour par la question de reconfiguration

Les ordinateurs sont connus pour être très reconfigurables, on peut:

- « reconfigurer » son navigateur, ses applications, son système d'exploitation ;
- « reconfigurer » la disposition de nos périphériques, e.g. PCIe, batteries, RAM, CPU ;

Visuellement: <https://appro.mit.jyu.fi/tools/biossimu/simu.html>

Un détour par la question de reconfiguration

Les ordinateurs sont connus pour être très reconfigurables, on peut:

- « reconfigurer » son navigateur, ses applications, son système d'exploitation ;
- « reconfigurer » la disposition de nos périphériques, e.g. PCIe, batteries, RAM, CPU ;
- « reconfigurer » une partie du CPU, e.g. activer les extensions de virtualisation.

Visuellement: <https://appro.mit.jyu.fi/tools/biossimu/simu.html>

Un détour par la question de reconfiguration

Les ordinateurs sont connus pour être très reconfigurables, on peut:

- « reconfigurer » son navigateur, ses applications, son système d'exploitation ;
- « reconfigurer » la disposition de nos périphériques, e.g. PCIe, batteries, RAM, CPU ;
- « reconfigurer » une partie du CPU, e.g. activer les extensions de virtualisation.

Visuellement: <https://appro.mit.jyu.fi/tools/biossimu/simu.html>

Un détour par la question de reconfiguration

Les ordinateurs sont connus pour être très reconfigurables, on peut:

- « reconfigurer » son navigateur, ses applications, son système d'exploitation ;
- « reconfigurer » la disposition de nos périphériques, e.g. PCIe, batteries, RAM, CPU ;
- « reconfigurer » une partie du CPU, e.g. activer les extensions de virtualisation.

Visuellement: <https://appro.mit.jyu.fi/tools/biossimu/simu.html>

Qu'est ce qu'on ne peut pas reconfigurer alors ?

Ce qui est difficilement reconfigurable sur une machine lambda

- « reconfigurer » **intégralement** le jeu d'instructions de son processeur, e.g. passer d'un processeur x86_64 à RISC-V sans le changer² ;

²Mais on peut utiliser un FPGA pour ça !

Ce qui est difficilement reconfigurable sur une machine lambda

- « reconfigurer » **intégralement** le jeu d'instructions de son processeur, e.g. passer d'un processeur x86_64 à RISC-V sans le changer² ;
- « reconfigurer » un périphérique PCIe qui est utilisé comme disque NVMe en mode 4G³ ;

²Mais on peut utiliser un FPGA pour ça !

³On peut mais seulement avec un BIOS en état manufacturier!

Ce qui est difficilement reconfigurable sur une machine lambda

- « reconfigurer » **intégralement** le jeu d'instructions de son processeur, e.g. passer d'un processeur x86_64 à RISC-V sans le changer² ;
- « reconfigurer » un périphérique PCIe qui est utilisé comme disque NVMe en modem 4G³ ;
- « reconfigurer » Intel Management Engine pour le désactiver⁴ ;

²Mais on peut utiliser un FPGA pour ça !

³On peut mais seulement avec un BIOS en état manufacturier!

⁴Bon, il y a le HAP bit... Mais c'est compliqué™.

Ce qui est difficilement reconfigurable sur une machine lambda

- « reconfigurer » **intégralement** le jeu d'instructions de son processeur, e.g. passer d'un processeur x86_64 à RISC-V sans le changer² ;
- « reconfigurer » un périphérique PCIe qui est utilisé comme disque NVMe en modem 4G³ ;
- « reconfigurer » Intel Management Engine pour le désactiver⁴ ;
- « reconfigurer » Intel BootGuard pour avoir ses propres clefs

²Mais on peut utiliser un FPGA pour ça !

³On peut mais seulement avec un BIOS en état manufacturier!

⁴Bon, il y a le HAP bit... Mais c'est compliqué™.

Mézalor, quel rapport avec la choucroute ?

Les switch, les routeurs, les serveurs, ce sont aussi des machines qui ont des contraintes de reconfiguration.

- Reconfigurer les VLANs, les ACL de ports, les rate-limits, c'est souhaitable!

C'est l'idée derrière la notion de « Software-defined network », traiter le problème de reconfiguration en faisant remonter les choses au niveau logiciel, plutôt qu'hardware.

Mézalor, quel rapport avec la choucroute ?

Les switch, les routeurs, les serveurs, ce sont aussi des machines qui ont des contraintes de reconfiguration.

- Reconfigurer les VLANs, les ACL de ports, les rate-limits, c'est souhaitable!
- Reconfigurer ce que le switch est capable de faire ou non, e.g. IPv6, MPLS, etc. — c'est souhaitable aussi!

C'est l'idée derrière la notion de « Software-defined network », traiter le problème de reconfiguration en faisant remonter les choses au niveau logiciel, plutôt qu'hardware.

Quelques exemples de « Software-defined »

- « Software-defined radio », faire de la radio sans encoder toute la logique au niveau ASIC directement, e.g. LimeSDR, WebSDR, etc. ;

Quelques exemples de « Software-defined »

- « Software-defined radio », faire de la radio sans encoder toute la logique au niveau ASIC directement, e.g. LimeSDR, WebSDR, etc. ;
- « Software-defined WAN », abstraire les technologies WAN (LTE, MPLS, etc.) et penser l'usage d'Internet comme partie intégrale (e.g. SaaS, O365, Salesforce) ;

Quelques exemples de « Software-defined »

- « Software-defined radio », faire de la radio sans encoder toute la logique au niveau ASIC directement, e.g. LimeSDR, WebSDR, etc. ;
- « Software-defined WAN », abstraire les technologies WAN (LTE, MPLS, etc.) et penser l'usage d'Internet comme partie intégrale (e.g. SaaS, O365, Salesforce) ;
- « Software-defined storage », centraliser la ressource de stockage et l'abstraire, e.g. Amazon S3 ;

Quelques exemples de « Software-defined »

- « Software-defined radio », faire de la radio sans encoder toute la logique au niveau ASIC directement, e.g. LimeSDR, WebSDR, etc. ;
- « Software-defined WAN », abstraire les technologies WAN (LTE, MPLS, etc.) et penser l'usage d'Internet comme partie intégrale (e.g. SaaS, O365, Salesforce) ;
- « Software-defined storage », centraliser la ressource de stockage et l'abstraire, e.g. Amazon S3 ;
- « Software-defined data center », on combine SDN, SDS, la virtualisation et le management de tout ça, e.g. AWS !

- Control plane: tables de routage, etc.

- Control plane: tables de routage, etc.
- Management plane⁵: monitoring, centralisation, etc.

⁵Considéré parfois comme un sous ensemble du control plane.

- Control plane: tables de routage, etc.
- Management plane⁵: monitoring, centralisation, etc.
- Data plane: tables « ARP », plan de commutation, etc.

⁵Considéré parfois comme un sous ensemble du control plane.

Plusieurs protocoles existent pour observer et changer un parc d'équipements réseaux, ils ont plusieurs défauts et particularités :

- Très vendor-specific (suffit de lire le nombre de RFC) ;

Plusieurs protocoles existent pour observer et changer un parc d'équipements réseaux, ils ont plusieurs défauts et particularités :

- Très vendor-specific (suffit de lire le nombre de RFC) ;
- Basé sur XML, sur des fichiers à trimbaler (MIBs) ;

Plusieurs protocoles existent pour observer et changer un parc d'équipements réseaux, ils ont plusieurs défauts et particularités :

- Très vendor-specific (suffit de lire le nombre de RFC) ;
- Basé sur XML, sur des fichiers à trimbaler (MIBs) ;
- La sécurité a été une arrière-pensée sur certains ;

Plusieurs protocoles existent pour observer et changer un parc d'équipements réseaux, ils ont plusieurs défauts et particularités :

- Très vendor-specific (suffit de lire le nombre de RFC) ;
- Basé sur XML, sur des fichiers à trimbaler (MIBs) ;
- La sécurité a été une arrière-pensée sur certains ;
- Requiert de l'équipement dans chaque rack pour contrôler l'ensemble correctement ;

Plusieurs protocoles existent pour observer et changer un parc d'équipements réseaux, ils ont plusieurs défauts et particularités :

- Très vendor-specific (suffit de lire le nombre de RFC) ;
- Basé sur XML, sur des fichiers à trimbaler (MIBs) ;
- La sécurité a été une arrière-pensée sur certains ;
- Requiert de l'équipement dans chaque rack pour contrôler l'ensemble correctement ;
- Ils sont utilisés et existent, je ne considère pas ça comme du « vrai SDN », même si on peut en construire par dessus

OpenFlow est un protocole de configuration dynamique des switch, l'on peut :

- Configurer des « flows »

OpenFlow est un protocole de configuration dynamique des switch, l'on peut :

- Configurer des « flows »
- Prendre des décisions dynamiques sur des paquets inconnus

Un « flow »⁶ c'est une règle en simple, elle décide :

- Conditions de matching, e.g. L2 ou L3, VLAN, etc.

⁶Dans le monde OpenFlow, mais c'est un vocabulaire devenu générique.

Un « flow »⁶ c'est une règle en simple, elle décide :

- Conditions de matching, e.g. L2 ou L3, VLAN, etc.
- Ensemble d'actions à prendre, e.g. dropper, copier vers un port, etc.

⁶Dans le monde OpenFlow, mais c'est un vocabulaire devenu générique.

Un « flow »⁶ c'est une règle en simple, elle décide :

- Conditions de matching, e.g. L2 ou L3, VLAN, etc.
- Ensemble d'actions à prendre, e.g. dropper, copier vers un port, etc.
- Priorités, timeouts, « cookies »⁷

⁶Dans le monde OpenFlow, mais c'est un vocabulaire devenu générique.

⁷L'équivalent d'un packet marker dans le monde Linux.

- <https://networkingnerd.net/2016/11/29/openflow-is-dead-long-live-openflow/>

- <https://networkingnerd.net/2016/11/29/openflow-is-dead-long-live-openflow/>
- <https://www.bitsinflight.com/sdns-promise-lives-on/>

- <https://networkingnerd.net/2016/11/29/openflow-is-dead-long-live-openflow/>
- <https://www.bitsinflight.com/sdns-promise-lives-on/>
- <http://www.forwardingplane.net/2018/11/faucet-enterprise-openflow-in-production/>

- <https://networkingnerd.net/2016/11/29/openflow-is-dead-long-live-openflow/>
- <https://www.bitsinflight.com/sdns-promise-lives-on/>
- <http://www.forwardingplane.net/2018/11/faucet-enterprise-openflow-in-production/>
- https://lightbytes.es.net/2018/11/05/___trashed/

Mininet

Mininet permet de créer des réseaux réalistes virtuels, qui font tourner un noyau Linux, du code de switch et applicatif sur la même machine, en quelques secondes.

⁸Que nous verrons plus tard dans cette présentation.

Mininet permet de créer des réseaux réalistes virtuels, qui font tourner un noyau Linux, du code de switch et applicatif sur la même machine, en quelques secondes.

Outil de développement classique pour travailler avec OpenFlow ou P4⁸

⁸Que nous verrons plus tard dans cette présentation.

Demo (ou fail) time :-)

- Aller plus loin: https://ce.sc.edu/cyberinfra/workshops/Material/SDN/SDN_Labs.pdf

Faucet

- Écrit en Python ;

- Écrit en Python ;
- Configuration en YAML⁹

⁹Beurk, mais... :-)

- Écrit en Python ;
- Configuration en YAML⁹
- S'intègre avec Prometheus, InfluxDB et autres ;

⁹Beurk, mais... :-)

- Écrit en Python ;
- Configuration en YAML⁹
- S'intègre avec Prometheus, InfluxDB et autres ;
- Supporte TLS et les configurations `fall-secure` / `fall-standalone` ;

⁹Beurk, mais... :-)

- Écrit en Python ;
- Configuration en YAML⁹
- S'intègre avec Prometheus, InfluxDB et autres ;
- Supporte TLS et les configurations `fall-secure` / `fall-standalone` ;
- OpenFlow $\geq 1.3.x$ avec plusieurs tables de groupe ;

⁹Beurk, mais... :-)

Un contrôleur SDN à l'échelle locale

- Écrit en Python ;
- Configuration en YAML⁹
- S'intègre avec Prometheus, InfluxDB et autres ;
- Supporte TLS et les configurations `fall-secure` / `fall-standalone` ;
- OpenFlow $\geq 1.3.x$ avec plusieurs tables de groupe ;
- Haute disponibilité par idempotence.

⁹Beurk, mais... :-)

Un contrôleur SDN petit... mais puissant

- IPv6 supporté!! ;

Un contrôleur SDN petit... mais puissant

- IPv6 supporté!! ;
- Apprentissage sécurisé: unicast flooding ;

Un contrôleur SDN petit... mais puissant

- IPv6 supporté!! ;
- Apprentissage sécurisé: unicast flooding ;
- ACLs ;

Un contrôleur SDN petit... mais puissant

- IPv6 supporté!! ;
- Apprentissage sécurisé: unicast flooding ;
- ACLs ;
- Policy-based forwarding avec offloading possible (e.g. 802.1x) ;

Un contrôleur SDN petit... mais puissant

- IPv6 supporté!! ;
- Apprentissage sécurisé: unicast flooding ;
- ACLs ;
- Policy-based forwarding avec offloading possible (e.g. 802.1x) ;
- Stacking de switch ;

Un contrôleur SDN petit... mais puissant

- IPv6 supporté!! ;
- Apprentissage sécurisé: unicast flooding ;
- ACLs ;
- Policy-based forwarding avec offloading possible (e.g. 802.1x) ;
- Stacking de switch ;
- Conçu pour le NFV: Network Function Virtualization

Un contrôleur SDN petit... mais puissant

- IPv6 supporté!! ;
- Apprentissage sécurisé: unicast flooding ;
- ACLs ;
- Policy-based forwarding avec offloading possible (e.g. 802.1x) ;
- Stacking de switch ;
- Conçu pour le NFV: Network Function Virtualization
- Routage BGP.

Si vous aussi, vous n'aimez pas YAML ou JSON pour configurer les choses, vous aimerez peut-être Dhall.

¹⁰Qui n'en sont pas.

Si vous aussi, vous n'aimez pas YAML ou JSON pour configurer les choses, vous aimerez peut-être Dhall.

Autrement, vous serez sensible à l'importance des problématiques induites par les différents langages « de configuration »¹⁰

¹⁰Qui n'en sont pas.

C'est du YAML que l'on va voir.

On va voir ça aussi sur le site.¹¹

¹¹Cette slide a été écrite le matin de Federez, donc, avec le niveau de fatigue :>

Bon, il faut montrer que ça marche maintenant. :-)

Bon, il faut montrer que ça marche maintenant. :-)

Pas de vrai switch sous la main, pas de vraie démo, mais on a mininet et OVS au moins !

Je triche, puisque je n'ai rien sous la main.

- <https://grafana.redcables.wand.nz/d/000000008/redcables-openflow-statistics?orgId=1&refresh=10s&search=open&folder=current>

Proxmox

- BGP-EVPN / VXLAN: contrôleurs et zones (QinQ / VLAN supportés)

- BGP-EVPN / VXLAN: contrôleurs et zones (QinQ / VLAN supportés)
- IPAM: phpIPAM / Netbox IPAM

Un petit tour des capacités SDN

- BGP-EVPN / VXLAN: contrôleurs et zones (QinQ / VLAN supportés)
- IPAM: phpIPAM / Netbox IPAM
- DNS: PowerDNS

Capacité SDN inattendue ?

On peut utiliser des switch OpenVSwitch dans Proxmox!

Capacité SDN inattendue ?

On peut utiliser des switch OpenVSwitch dans Proxmox!

Donc, on peut utiliser Faucet et OpenFlow :-).

¹²Non, je n'ai pas eu le temps de reconfigurer le lab du club réseau avec OVS, la vie est difficile.

Capacité SDN inattendue ?

On peut utiliser des switch OpenVSwitch dans Proxmox!

Donc, on peut utiliser Faucet et OpenFlow :-).

Démonstration laissée en exercice aux spectateurs¹²

¹²Non, je n'ai pas eu le temps de reconfigurer le lab du club réseau avec OVS, la vie est difficile.

Retour sur la reconfiguration: P4

On peut aller plus loin et coordonner OpenFlow avec une reconfiguration dynamique des dissecteurs de protocole des switch.

- On peut inventer un nouveau protocole de tunnel

On peut aller plus loin et coordonner OpenFlow avec une reconfiguration dynamique des dissecteurs de protocole des switch.

- On peut inventer un nouveau protocole de tunnel
- On peut implémenter des protocoles non disponibles dans le switch et les accélérer

On peut aller plus loin et coordonner OpenFlow avec une reconfiguration dynamique des dissecteurs de protocole des switch.

- On peut inventer un nouveau protocole de tunnel
- On peut implémenter des protocoles non disponibles dans le switch et les accélérer
- On peut ré-attribuer les ressources du switch pour les concentrer sur des fonctionnalités, e.g. supprimer le support IPv4, rediriger la TCAM, etc.

Un petit mot sur le club réseau de l'ENS Ulm

Le club réseau de l'ENS Ulm est un club d'expérimentation autour des réseaux informatiques et des nouvelles technologies, on fait joujou sur tout ce qu'on a sous la main :

- NixOS : demandez moi ;)
-

Le club réseau de l'ENS Ulm est un club d'expérimentation autour des réseaux informatiques et des nouvelles technologies, on fait joujou sur tout ce qu'on a sous la main :

- NixOS : demandez moi ;)
 - Proxmox : SDN, automatisation des ressources, ZFS
-

Le club réseau de l'ENS Ulm est un club d'expérimentation autour des réseaux informatiques et des nouvelles technologies, on fait joujou sur tout ce qu'on a sous la main :

- NixOS : demandez moi ;)
- Proxmox : SDN, automatisation des ressources, ZFS
- DN42 et BGP : BGP hijacking, RPKI

Le club réseau de l'ENS Ulm est un club d'expérimentation autour des réseaux informatiques et des nouvelles technologies, on fait joujou sur tout ce qu'on a sous la main :

- NixOS : demandez moi ;)
- Proxmox : SDN, automatisation des ressources, ZFS
- DN42 et BGP : BGP hijacking, RPKI
- Techniques de sécurité avancés: TPM, Secure Boot, remote unlock of full disk encryption¹³

¹³Avec Mandos par exemple.

Le club réseau de l'ENS Ulm est un club d'expérimentation autour des réseaux informatiques et des nouvelles technologies, on fait joujou sur tout ce qu'on a sous la main :

- NixOS : demandez moi ;)
- Proxmox : SDN, automatisation des ressources, ZFS
- DN42 et BGP : BGP hijacking, RPKI
- Techniques de sécurité avancés: TPM, Secure Boot, remote unlock of full disk encryption¹³
- IPv6 : link-local, multicast

¹³Avec Mandos par exemple.

Le club réseau de l'ENS Ulm est un club d'expérimentation autour des réseaux informatiques et des nouvelles technologies, on fait joujou sur tout ce qu'on a sous la main :

- NixOS : demandez moi ;)
- Proxmox : SDN, automatisation des ressources, ZFS
- DN42 et BGP : BGP hijacking, RPKI
- Techniques de sécurité avancés: TPM, Secure Boot, remote unlock of full disk encryption¹³
- IPv6 : link-local, multicast
- Autres : WireGuard, Kubernetes, eBPF, etc.

¹³Avec Mandos par exemple.

Équipement

Nous avons un petit peu de budget tous les ans ($< 1\,000\text{ €}$) pour acheter le matériel critique (e.g. switch, un serveur R720, de l'espace, des tunnels chez un provider — MilkyWAN).

Nous avons un petit peu de budget tous les ans ($< 1\,000\text{ €}$) pour acheter le matériel critique (e.g. switch, un serveur R720, de l'espace, des tunnels chez un provider — MilkyWAN).

Si vous aimez ce qu'on fait et vous souhaiteriez voir plus de contenu, n'hésitez pas à nous le dire et si vous avez du matériel dont vous voulez vous débarrasser, nous sommes preneurs !

- En serveurs: PowerEdge RX20 ou de génération supérieures, RAM DDR3 adaptée, disques SAS (600GB et plus), SSDs ;

Nous avons un petit peu de budget tous les ans ($< 1\,000\text{ €}$) pour acheter le matériel critique (e.g. switch, un serveur R720, de l'espace, des tunnels chez un provider — MilkyWAN).

Si vous aimez ce qu'on fait et vous souhaiteriez voir plus de contenu, n'hésitez pas à nous le dire et si vous avez du matériel dont vous voulez vous débarrasser, nous sommes preneurs !

- En serveurs: PowerEdge RX20 ou de génération supérieures, RAM DDR3 adaptée, disques SAS (600GB et plus), SSDs ;
- En switch: OpenFlow ≥ 1.3 , P4 idéalement ;

Nous avons un petit peu de budget tous les ans ($< 1\,000\text{ €}$) pour acheter le matériel critique (e.g. switch, un serveur R720, de l'espace, des tunnels chez un provider — MilkyWAN).

Si vous aimez ce qu'on fait et vous souhaiteriez voir plus de contenu, n'hésitez pas à nous le dire et si vous avez du matériel dont vous voulez vous débarrasser, nous sommes preneurs !

- En serveurs: PowerEdge RX20 ou de génération supérieures, RAM DDR3 adaptée, disques SAS (600GB et plus), SSDs ;
- En switch: OpenFlow ≥ 1.3 , P4 idéalement ;
- En borne WiFi: compatible openwrt, WiFi 5 2nd wave préférablement, ARM/x86 en priorité, sinon MIPS et autres exotismes OK ;

Nous avons un petit peu de budget tous les ans ($< 1\,000\text{ €}$) pour acheter le matériel critique (e.g. switch, un serveur R720, de l'espace, des tunnels chez un provider — MilkyWAN).

Si vous aimez ce qu'on fait et vous souhaiteriez voir plus de contenu, n'hésitez pas à nous le dire et si vous avez du matériel dont vous voulez vous débarrasser, nous sommes preneurs !

- En serveurs: PowerEdge RX20 ou de génération supérieures, RAM DDR3 adaptée, disques SAS (600GB et plus), SSDs ;
- En switch: OpenFlow ≥ 1.3 , P4 idéalement ;
- En borne WiFi: compatible openwrt, WiFi 5 2nd wave préférablement, ARM/x86 en priorité, sinon MIPS et autres exotismes OK ;
- Autres: de la fibre, des SFP+ (ou des DAC), des cartes réseaux 10Gbps et plus, des ressources IPs, baies de stockage

Questions ?
