

Université ABDELMALEK ESSAADI  
école National des Sciences appliquée de Tanger

Master Cyber Sécurité et cybercriminalité (MCSC)

Centres des données



---

# l'état d'art des centres des données et du cloud

---

Najah Issam

année universitaire : 2019/2021

M. Nizar Ben Achhab

# Table des matières

<b>Introduction</b>	<b>2</b>
1 les premiers centres des données . . . . .	2
1.1 la date et l'emplacement des premiers centres des données . . . . .	2
1.2 Les noms des premiers fondateurs de l'idée des centres de données . . . . .	3
1.3 Les tailles, pays et capacités des premiers centres de données . . . . .	3
1.4 Les types et topologies réseaux des premiers centres de données . . . . .	4
2 les derniers centres de données . . . . .	7
2.1 Les sociétés, pays, tailles et capacités des derniers centres de données . . . . .	7
2.2 Les types et topologies réseaux des dernières centres de données . . . . .	8
3 Les noms des premiers fondateurs de l'idée du cloud . . . . .	13
4 Définition d'infiniband et pourcentage d'utilisation dans les centres de données actuels . . . . .	14
4.1 Définition d'infiniband . . . . .	14
4.2 pourcentage d'utilisation d'infiniband dans les centres de données actuels	14
5 Définition classification des middlewares cloud . . . . .	16
5.1 Définition DE middleware cloud . . . . .	16
5.2 classification des middlewares cloud . . . . .	16
6 Définition et histoire d'opensatck et pourcentage d'utilisation dans les centres de données actuels . . . . .	17
6.1 Définition d'opensatck . . . . .	17
6.2 histoire d'opensatck . . . . .	18
6.3 pourcentage d'utilisation d'opensatck dans les centres de données actuels	18
7 Salaire net moyen (par pays) des ingénieurs architectes des centres de données et cloud . . . . .	19
<b>conclusion</b>	<b>20</b>

---

# Introduction

Face à l'augmentation continue des coûts de mise en place et de maintenance des systèmes d'informations, les entreprises externalisent de plus en plus leurs services informatiques en les confiant à des entreprises spécialisées comme les fournisseurs de Cloud. L'intérêt principal de cette stratégie pour les entreprises réside dans le fait qu'elles ne paient que pour les services effectivement consommés.

Le Cloud Computing est aujourd'hui le sujet phare dans le domaine des systèmes d'information et de communication. Après la virtualisation, le Cloud paraît être la révélation qui va permettre aux entreprises d'être plus performantes et de gérer le coût des systèmes d'information plus sereinement. Mais suite à cette entrée fracassante nous pouvons tout de même nous demander ce qu'est le Cloud Computing ? C'est pour cela que ce travail de fin d'études de master s'intéresse à ce domaine tout nouveau, du moins pour nous.

Le terme Cloud Computing, ou « informatique dans les nuages », est un nouveau modèle informatique qui consiste à proposer les services informatiques sous forme de services à la demande, accessibles de n'importe où, n'importe quand et par n'importe qui. Cette nouvelle technologie permet à des entreprises d'externaliser le stockage de leurs données et de leur fournir une puissance de calcul supplémentaire pour le traitement de grosse quantité d'informations.

L'objectif de ce travail est justement d'approfondir et d'expérimenter nos connaissances sur ce thème de Cloud Computing et les centres des données, puis de faire son état de l'art.

## 1 les premiers centres des données

Un Data Center est un bâtiment, ou partie de bâtiment, intégrant des équipements informatiques. Le matériel installé, des serveurs, des baies de stockage, des systèmes de réseaux et de télécommunications permettent d'échanger, de traiter et de stocker les données quel que soit son origine (particuliers ou entreprises) et sa provenance (pays d'origine ou monde). Il peut être interne et/ou externe à l'entreprise, exploité ou non avec le soutien de prestataires. Il fournit des services informatiques en environnement contrôlé (climatisation) et sécurité (système anti-incendie, contre le vol et l'intrusion, etc.), avec une alimentation d'urgence et redondante.

Historiquement, le développement des centres de données s'est déroulé de manière fluide, passant de départements informatiques (technologies de l'information) ou d'une base de laboratoires de recherche en informatique. Il est assez problématique de déterminer une date précise dans l'histoire à laquelle le centre de données a été créé : il pourrait être tiré des documents de la création d'un centre de données, du moment où le premier ordinateur y a été éliminé ou du début de ses travaux [1].

### 1.1 la date et l'emplacement des premiers centres des données

Le premier centre de données a été construit aux États-Unis en 1946, et il s'appelait ENIAC (Electronic Numerical Integrator and Computer). L'armée américaine l'a utilisé pour stocker des codes de défense. Cet ordinateur n'utilisait toujours pas de transistors. Au lieu de cela, il avait près de 18 000 tubes à vide, 7200 diodes à cristal et 10000 condensateurs. La chose était énorme - 167,2 mètres carrés (1 800 pieds carrés).

Le CDC 6600 est le premier supercalculateur, surpassant son prédécesseur le plus rapide, IBM. En 1964, cette machine était utilisée pour des analyses scientifiques. Si vous souhaitez visiter cette console système géante, l'unité d'affichage se trouve au Computer History Museum

---

de Mountain View, en Californie. Ce superordinateur est célèbre pour les jeux vidéo montrés sur écran tels que Lunar lander .

Les années 70 ont commencé à être passionnantes avec l'introduction du processeur 4004 d'Intel (1971). Il s'agissait du premier processeur programmable à usage général devenu le «cerveau» de différents logiciels personnalisés.

Deux ans plus tard, Xerox Alto est entré sur le marché et a présenté la première interface graphique. Cet ordinateur était en avance sur son temps et il est même venu avec une souris à 3 boutons.

En 1977, la Chase Manhattan Bank a appliqué le premier LAN - ARCnet. Il a pris en charge jusqu'à 255 ordinateurs et un débit de données de 2,5 Mbps.

Un an plus tard, la multinationale américaine de logiciels SunGard a créé la première reprise commerciale après sinistre.

Années 80

Le fabricant d'ordinateurs américain Sun Microsystems a créé le protocole de système de fichiers réseau. Avec cela, les ordinateurs clients ont pu accéder aux fichiers sur le réseau d'une manière similaire à l'accès au stockage interne [18].

## **1.2 Les noms des premiers fondateurs de l'idée des centres de données**

Le concept des centres de données n'est pas nouveau car il existe depuis la fin des années 1940, Le premier centre de données a probablement été construit aux États-Unis et s'appelait ENIAC (Electronic Numerical Integrator and Computer). Il a été essentiellement conçu pour le laboratoire de recherche balistique de l'armée américaine. Cela s'est produit en 1945-1946 lorsque la machine entière pesait environ 30 tonnes. Un tel poids a été attribué à la grande taille d'ENIAC qui a pris près de 1800 pieds carrés d'espace au sol ! Pour maintenir la machine en marche, il fallait jusqu'à 6 techniciens pendant toute la durée de fonctionnement. De plus, ENIAC a pu effectuer 5 000 opérations en une seconde. C'était l'époque où les ordinateurs n'étaient pas accessibles au grand public et les agences gouvernementales et l'armée en faisaient le meilleur usage possible [1].

## **1.3 Les tailles, pays et capacités des premiers centres de données**

Les entreprises utilisent des centres de données pour effectuer des tâches plus laborieuses comme la sécurité des données, fournir des serveurs virtuels, le cloud computing, l'hébergement, l'équilibrage de charge, le stockage et plus encore.

Le premier centre de données a probablement été construit aux États-Unis en 1946 et s'appelait ENIAC (Electronic Numerical Integrator and Computer).présenté comme un «cerveau géant» » Et a été construit pour effectuer des calculs pour l'armée américaine. Finalement logé au terrain d'essai d'Aberdeen dans le Maryland, ENIAC était un «monstre grotesque» de 30 tonnes selon les normes modernes, selon un compte militaire. Il occupait 1 800 pieds carrés d'espace au sol et nécessitait six opérateurs à temps plein pour le faire fonctionner.

Les 19 000 tubes à vide de l'ordinateur, couplés à 1 500 relais et «des centaines de milliers de résistances, de condensateurs et d'inductances», ont consommé près de 200 kilowatts d'énergie et dégagé une énorme quantité de chaleur. Les dossiers militaires rappellent : «Les fluctuations de la ligne électrique et les pannes de courant ont rendu impossible un fonctionnement continu directement hors du réseau du transformateur. La quantité importante de chaleur qui devait être dissipée dans l'atmosphère chaude et humide d'Aberdeen a créé un problème d'évacuation de la chaleur de proportions importantes. Les temps d'arrêt étaient longs ; les périodes de fonctionnement sans erreur ont été courtes.

En 1960, American Airlines, en collaboration avec IBM, a déplacé deux ordinateurs centraux

---

IBM 7090 (qui étaient plus proches d'une voiture plutôt que d'un garage) dans un nouveau centre de données à New York. Cette installation a permis d'alimenter le tout premier système informatisé de réservation et de réservation du transporteur aérien, SABRE.

Années 1970

Les années 70 ont commencé à être passionnantes avec l'introduction du processeur 4004 d'Intel (1971). Il s'agissait du premier processeur programmable à usage général devenu le «cerveau» de différents logiciels personnalisés.

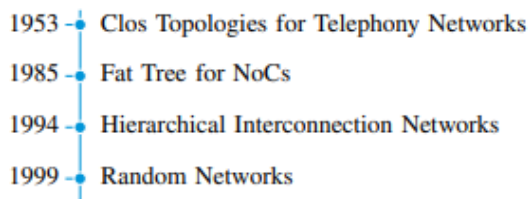
Deux ans plus tard, Xerox Alto est entré sur le marché et a présenté la première interface graphique. Cet ordinateur était en avance sur son temps et il est même venu avec une souris à 3 boutons.

En 1977, la Chase Manhattan Bank a appliqué le premier LAN - ARCnet. Il a pris en charge jusqu'à 255 ordinateurs et un débit de données de 2,5 Mbps.

Un an plus tard, la multinationale américaine de logiciels SunGard a créé la première reprise commerciale après sinistre [10].

## 1.4 Les types et topologies réseaux des premiers centres de données

Dans cette section, nous décrivons certains topologies de réseau des premiers centres de données (DCN) qui ont été proposées sur le temps. Nous avons organisé toutes ces topologies sur une chronologie en fonction de la date de publication du document correspondant :



### Clos Topologies

Les réseaux Clos sont architecturés en trois niveaux : ingress (entrée) , middle (intermédiaire) et egress (sortie). Chaque étage est construit avec un certain nombre de switches en crossbar (voir diagramme), appelés souvent crossbars. Chaque appel entrant dans un commutateur ingress peut être routé via un commutateur middle vers le commutateur egress correspondant à la destination. Un commutateur middle n'est utilisable que si le lien ingress-middle et le lien middle-egress sont disponibles [2].

### Fat Tree Topology

Il y a plus de 50 ans, Charles Clos proposait des topologies de réseau Clos non bloquantes pour les circuits téléphoniques qui offre une bande passante élevée. Beaucoup de données commerciales les réseaux centraux adoptent une instance spéciale de topologies fermées appelé Fat Tree. FT a été initialement proposé pour les processeurs d'organisation de réseaux sur puce (NoC) dans un arbre binaire comme le montre la figure. Chaque processeur est connecté vers un routeur (nœud de commutation) avec une liaison duplex (deux canaux / liaisons - une liaison montante et une autre liaison descendante). Paquet le routage est également très simplifié et ne nécessite que 2 journaux (n) espace de destination. N'importe quel nœud est accessible depuis n'importe quel autre nœud en parcourant un chemin unique à travers le commun ancêtre. Les topologies Fat Tree sont populaires pour leur nature non bloquante, fournissant de nombreux chemins

redondants entre 2 hôtes. Ces topologies sont ensuite utilisées pour construire rapidement et super ordinateurs efficaces tels que BlackWidow le long avec une utilisation réussie dans les centres de données commerciaux [2].

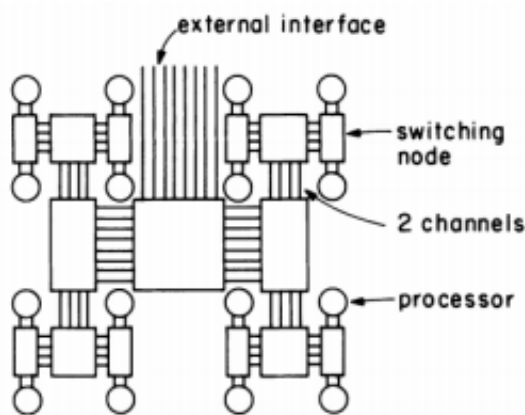


Figure : Fat Tree for NoCs

### Hierarchical interconnection networks (HINs)

Les réseaux d'interconnexion hiérarchiques (HIN) fournissent un cadre pour la conception de réseaux à coût de liaison réduit en tirant parti de la localité de communication qui existe dans les applications parallèles. Les HIN utilisent plusieurs niveaux. Les réseaux de niveau inférieur fournissent une communication locale tandis que les réseaux de niveau supérieur facilitent la communication à distance. Les HIN offrent une tolérance aux pannes en présence de certains nœuds et / ou liaisons défectueux. Les HIN existants peuvent être classés en deux grandes catégories. ceux qui utilisent des nœuds et / ou des répliques de liens et ceux qui utilisent des nœuds d'interface de secours. La première classe comprend les réseaux cubiques hiérarchiques, les réseaux hiérarchiques complètement connectés et les réseaux d'interconnexion hiérarchiques à triple base. La deuxième classe HIN comprend les réseaux modulaires à hyper-tolérances aux pannes et les réseaux d'interconnexion hiérarchiques à tolérance de pannes. Cet article présente une revue et une comparaison des propriétés topologiques des deux classes de HIN. Les propriétés topologiques considérées sont le degré, le diamètre, le coût et la densité de tassement du réseau. Le résultat de cette étude montre que parmi tous les HIN, deux réseaux, à savoir le Heawood plié en racine (RFH) et le Heawood inondé (FloH), appartenant à la première classe HIN, fournissent le meilleur coût de réseau, défini comme le produit du diamètre du réseau et du degré. L'étude montre également que le HFCube ( $n, n$ ) fournit la meilleure densité d'emballage, c'est-à-dire la plus petite zone de puce requise pour la mise en œuvre du VLSI [12].

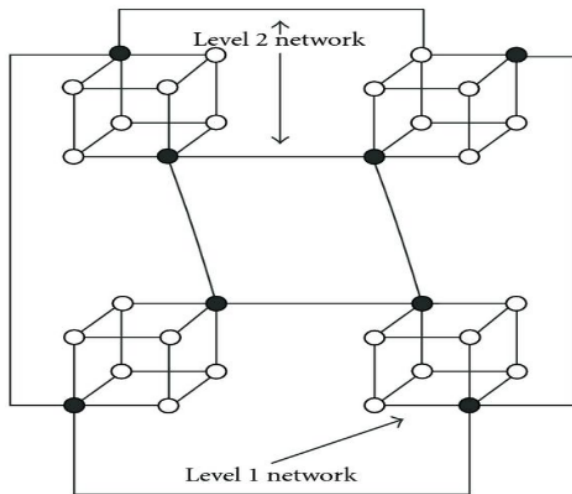


Figure :Hierarchical interconnection networks (HINs).

### random networks

random networks sont créés en fixant le nombre de nœuds et en donnant à toutes les liaisons possibles une probabilité uniforme de se former. Étant donné que chaque lien est indépendant de tous les autres liens, il est souvent possible d'approximer la valeur d'une mesure mathématiquement sans avoir besoin de simulations lors de l'utilisation de ces réseaux. Par exemple, le coefficient de regroupement global est égal à la probabilité uniforme et le chemin le plus court moyen est approximativement le rapport entre le logarithme des nœuds et le logarithme du nombre moyen de liens que les nœuds ont (Watts et Strogatz, 1998). Une limitation principale des réseaux aléatoires classiques est que la distribution des liens entre les nœuds est uniforme ou Poisson. Bien que cela soit pratique pour dériver les valeurs attendues, une telle distribution existe rarement dans la réalité. En fait, la plupart des distributions de degrés dans le monde réel sont asymétriques, ce qui implique que quelques nœuds sont des concentrateurs. Les concentrateurs affectent en particulier les mesures de réseau basées sur les chemins les plus courts, car les concentrateurs le réduisent en agissant comme des raccourcis entre d'autres nœuds [11].

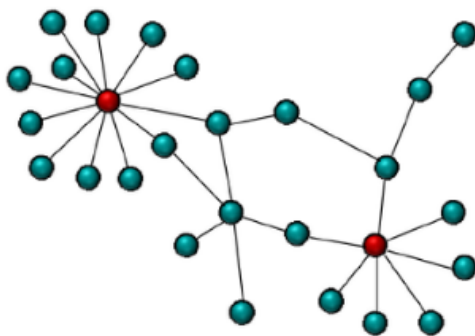


Figure :random networks.

---

## 2 les derniers centres de données

### 2.1 Les sociétés, pays, tailles et capacités des derniers centres de données

Il existe des centaines de centres de données répartis dans le monde. La majorité est relativement petite, avec une taille moyenne d'environ 100 000 pieds carrés. Mais ensuite, il y a les grandes qui consomment autant d'énergie qu'une petite ville de quelques milliers d'habitants. on va présenté une liste des 5 plus grands centres de données par taille ,capacité et pays :

#### **Range International Information Group**

Emplacement : Langfang, Chine

Area : 6,300,000 Sq. Ft.

Le boom économique et technologique chinois des décennies précédentes conduit le gouvernement du pays à investir davantage dans le secteur informatique. En conséquence, de nouveaux centres de données sont nécessaires de toute urgence. Au moment de l'achèvement du centre de données du Range International Information Group, sa superficie sera presque de la même taille que le Pentagone à Washington et équivalente à près de 110 terrains de football.

L'usine de 6,3 millions de pieds carrés de Range est en construction dans la province du Hebei et devrait être terminée l'année prochaine.

Le bâtiment sera utilisé comme plate-forme d'infrastructure informatique du centre d'information international de Langfang Range dans la zone de développement économique du Hebei Langfang.

L'entreprise contribuera au développement de la ville de Langfang et sera utilisée comme hôte pour des transports plus intelligents, un gouvernement électronique, des systèmes administratifs et des services de sécurité sanitaire des aliments et des médicaments [17].

#### **Switch SuperNAP**

Emplacement : Nevada, USA

Area : 3,500,000 million Sq. Ft.

Switch est toujours propriétaire du plus grand centre de données au monde. Son titre restera inchangé jusqu'à l'ouverture du centre d'information international Chinese Range l'année prochaine.

La base est stratégiquement située à Las Vegas, dans le sud du Nevada, pour éviter les catastrophes naturelles. Il est prévu que le centre subisse un plan d'expansion majeur sur 1 000 acres de terrain dans le centre industriel de Tahoe Reno pour un coût de 1 milliard de dollars, faisant du Nevada l'État le plus connecté aux États-Unis.

Le changement d'estimation des travaux doit être achevé entre 2020 et 2025.

Le projet comprend le déploiement de 500 miles de câbles réseau à fibre optique qui relieront Reno, Las Vegas, Los Angeles et San Francisco. Les données circuleront entre Reno et Las Vegas en seulement 7 millisecondes, permettant à 50 millions de personnes d'accéder aux données en 14 millisecondes [17].

#### **DuPont Fabros Technology**

Emplacement : Virginia, USA

Area : 1,600,000 million Sq. Ft.

Faisant partie d'un agglomérat de centres de données composé de six bâtiments, le campus de DuPont Fabros Technology dispose d'un total de 1,6 million de pieds carrés suite à l'ouverture des installations ACC7 en septembre 2014.



---

Avec 28 salles informatiques et une capacité de plus de 10 500 serveurs, l'ACC7 possède 450 000 pieds carrés de surface commerciale et produit 41,6 MW d'électricité.

DuPont a construit le centre avec un système de distribution électrique moyenne tension et une topologie d'alimentation parallèle sans coupure isolée [17].

### Utah Data Centre

Emplacement : Iowa, USA

Area : 1,200,000 Sq. Ft.

Microsoft a annoncé en avril 2014 son intention de construire un autre centre de données. La nouvelle installation ajoutera 1,2 million de pieds carrés d'espace commercial au portefeuille du géant qui rapporte déjà 4,1 millions de pieds carrés. Si tous ses bâtiments de centre de données étaient réunis, la société Bill Gates se classerait au premier rang pour la plus grande quantité d'espace de centre de données avec 6,3 millions de pieds carrés.

Le site est situé à West Des Moines, Iowa. Au coût de 1,13 milliard de dollars, la nouvelle installation augmentera les serveurs de plus d'un million de pieds carrés. La nouvelle infrastructure devrait être terminée entre 2019 et 2021.

En 2008, Microsoft a construit la première base de la région avec une expansion massive au coût de 677,6 millions de dollars en 2013. La nouvelle étape de la construction fait partie d'un projet de 2 milliards de dollars appelé Alluvion [17].

### Microsoft Data Centre

Emplacement : Virginia, USA

Area : 1,600,000 million Sq. Ft.

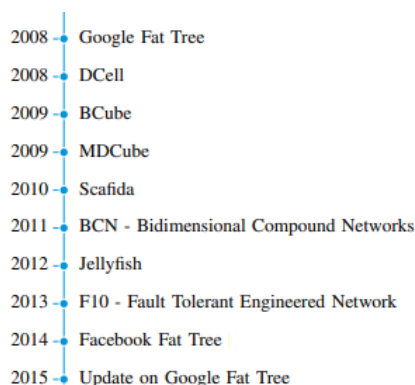
Faisant partie d'un agglomérat de centres de données composé de six bâtiments, le campus de DuPont Fabros Technology dispose d'un total de 1,6 million de pieds carrés suite à l'ouverture des installations ACC7 en septembre 2014.

Avec 28 salles informatiques et une capacité de plus de 10 500 serveurs, l'ACC7 possède 450 000 pieds carrés de surface commerciale et produit 41,6 MW d'électricité.

DuPont a construit le centre avec un système de distribution électrique moyenne tension et une topologie d'alimentation parallèle sans coupure isolée [17].

## 2.2 Les types et topologies réseaux des dernières centres de données

Dans cette section, nous décrivons certains topologies de réseau des dernières centres de données (DCN) qui ont été proposées sur le temps. Nous avons organisé toutes ces topologies sur une chronologie en fonction de la date de publication du document correspondant :



---

## Google Fat Tree

Google a implémenté une légère modification de Fat Tree topologie pour interconnecter les commutateurs Ethernet de base afin de produire de grands centres de données évolutifs. La topologie se compose de routeurs k-port avec calcul de marchandise nœuds aux feuilles de l'arbre comme le montre la figure. Le bloc de construction de base du centre de données est appelé pod. UNE Fat Tree se compose de k pods, chacun contenant deux couches de  $k / 2$  interrupteurs. Chaque commutateur k-port dans la couche inférieure est directement connecté à  $k / 2$  hôtes. Chacun des  $k / 2$  ports restants est connecté à  $k / 2$  des k ports de la couche d'agrégation de la hiérarchie. Il existe  $(k / 2)$  des commutateurs de base à 2 ports k. Chaque le commutateur principal possède un port connecté à chacun des k pods [2].

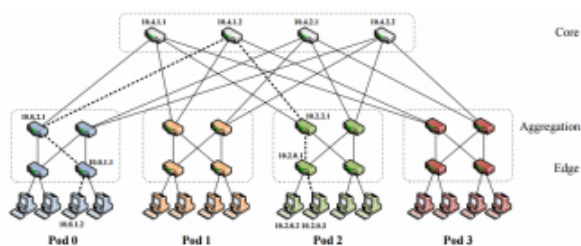


Figure : Google Fat Tree Topolog

Le routage dans Fat Tree est implémenté comme suit. Chaque flowlet prend un chemin unique parmi tous les chemins possibles pour atteindre l'ancêtre commun tout en évitant de réorganiser les paquets. Un flowlet est une collection de segments TCP (paquets) envoyés dans une succession rapide. Après avoir atteint l'ancêtre commun, il traverse vers le bas en empruntant le seul chemin possible. Cette la conception permet de construire les centres de données en utilisant la marchandise commutateurs au lieu de routeurs très coûteux réduisant la coût global significativement. Il peut utiliser tous les chemins redondants disponibles pour envoyer des paquets entre deux nœuds tout en bénéficiant d'un routage adaptatif [2].

## DCell

DCell est une architecture DCN hybride centrée sur le serveur où un serveur est directement connecté à de nombreux autres serveurs. Un serveur dans un DCell est équipé de plusieurs réseaux cartes d'interface (NIC). Le DCell suit une construction récursive hiérarchie des cellules comme le montre la figure . Un cell0 est la base unité et bloc de construction de la topologie DCell disposés sur plusieurs niveaux, où une cellule de niveau supérieur contient plusieurs niveaux inférieurs cellules de couche. Une cellule0 contient n serveurs et une marchandise commutateur de réseau. Le commutateur réseau est uniquement utilisé pour se connecter le serveur dans une cellule0. Une cellule1 contient  $k = n + 1$  cellule0 cellules, et de même une cellule2 contient  $k * n + 1$  cellule1. A Dcell peut être construit récursivement, ce qui donne plus de 3,26 millions serveurs d'un diamètre moyen inférieur à 10 ( $k = 3, n = 6$ ). Le routage dans Dcell suit une approche diviser pour mieux régner. Pour paquets à atteindre d'un hôte source à l'hôte de destination, il doit passer de la source à l'ancêtre commun DCell, un lien reliant les DCells de niveau précédent et enfin, à destination. Le chemin exact peut être trouvé de la même manière de manière récursive. Le protocole est encore étendu mettre en œuvre le routage à tolérance de pannes (DFR) pour faire face à échecs de liaison ou de nœud. Globalement, DCell est hautement évolutif et une topologie tolérante aux pannes cependant, elle fournit une faible bissection bande passante [2].

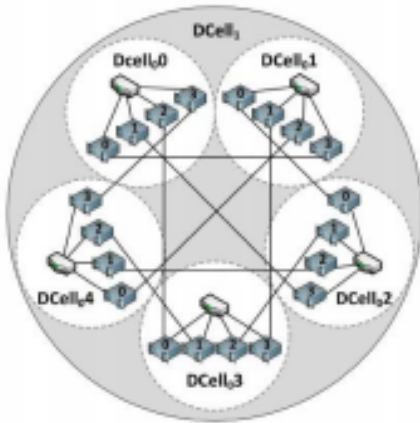


Figure : réseau DCell1 lorsque  $n = 4$ , composé de 5 DCell0, formant un graphe entièrement connecté.

### BCube

L'architecture de réseau BCube adopte une approche centrée sur le serveur pour produire un centre de données modulaire (MDC) en utilisant commutateurs de marchandises. Il place l'intelligence sur les serveurs MDC et fonctionne avec les mini-commutateurs COTS bas de gamme. Il y a deux types d'appareils dans BCube : serveurs avec plusieurs ports et des commutateurs qui se connectent à un nombre constant de serveurs. C'est une structure définie récursivement avec BCube0 simplement étant  $n$  serveurs connectés à un commutateur à  $n$  ports. BCubek est construit avec  $n$  BCubek - 1 ayant  $n$   $k - 1$  commutateurs chacun connexion du même serveur d'index depuis tous les BCubek - 1. Avec Mini-commutateurs à 8 ports, il peut prendre en charge jusqu'à 4096 serveurs un BCube3. La figure montre un BCube1 avec  $n = 4$  avec 2 niveaux. Le routage basé sur la source est effectué à l'aide d'un intermédiaire nœuds en tant que transitaire de paquets assurant, diminuant le hamming distance entre chaque hôte intermédiaire consécutif au destination. Une recherche périodique du chemin optimal est effectuée afin de faire face aux défaillances du réseau. Un à tous, le trafic tout-à-un et tout-à-tout peut également être acheminé en utilisant ports redondants  $(k + 1)$  sur chaque hôte [2].

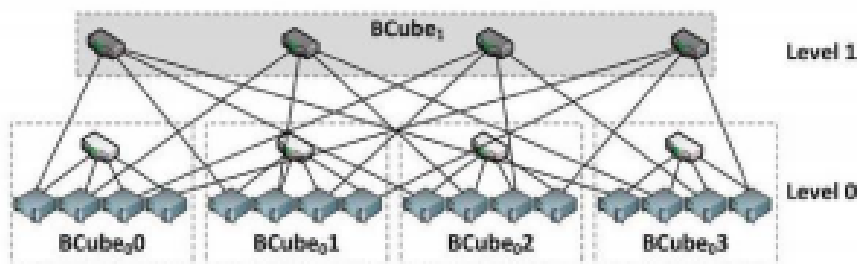


Figure : BCube Topology

---

## MDCube

Afin de construire un grand centre de données, MDCube utilise BCube est son élément constitutif et permet d'interconnecter des centaines et des milliers de conteneurs BCube en 1-D ou 2-D mode pour atteindre une capacité de réseau élevée comme le montre la figure . Il relie deux conteneurs de même dimension (c.-à-d. ligne ou colonne) avec un lien direct pour former une base complète graphique parmi tous les conteneurs similaires à un papillon aplati. Le routage à chemin unique est effectué par topologie en trouvant une paire d'interrupteurs dans un conteneur intermédiaire [2].

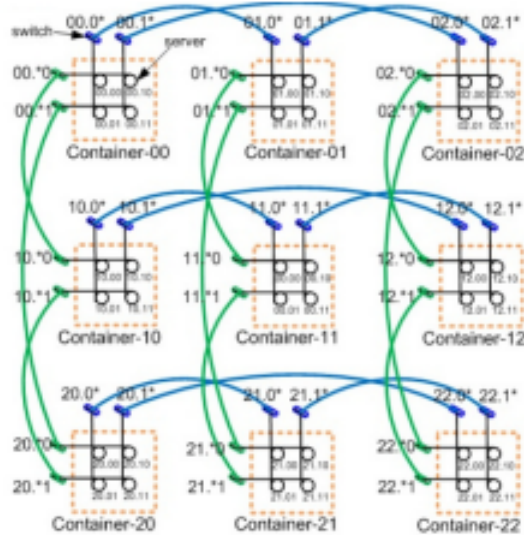


Figure : Une topologie MDCube 2D construite à partir de  $9 = 3 * 3$  Conteneurs BCube1 avec  $n = 2$ ,  $k = 1$  .

## Scafida

Scafida est une topologie de réseau de centre de données asymétrique sans échelle pour atteindre une courte distance, une tolérance d'erreur élevée et une construction incrémentielle. Les réseaux sans échelle ont deux propriétés importantes - petit diamètre et haute résistance à des échecs aléatoires. Le même ensemble de propriétés est fortement souhaitable dans les topologies de réseau de centres de données. Scafida fournit des méthodologies pour construire une telle topologie pour les données centres tout en apportant des modifications raisonnables à l'original paradigme de réseau sans échelle . Scafida se compose d'un ensemble hétérogène de commutateurs et d'hôtes en termes de nombre de ports / liens / interfaces. La topologie est construite de manière incrémentielle en ajoutant un nœud, puis en connectant au hasard tous les ports disponibles vers les ports vides existants. Le nombre de ports sont limités par les ports disponibles sur un nœud contrairement à l'original réseaux sans échelle. Un tel réseau fournit un défaut élevé tolérance. Les résultats montrent que même si 20% des commutateurs échouent, plus de 90% des paires de serveurs ont encore 2 disjoints chemins. Des exemples de topologie sans échelle sont illustrés dans la figure . Aucun algorithme de routage n'est encore proposé pour ces réseaux cependant, l'idée d'une construction aléatoire d'un centre de données Cela semble prometteur. Cependant, le câblage, la gestion des pannes des nœuds à grande échelle, les algorithmes de routage restent des problèmes majeurs qui doit être résolu [2].

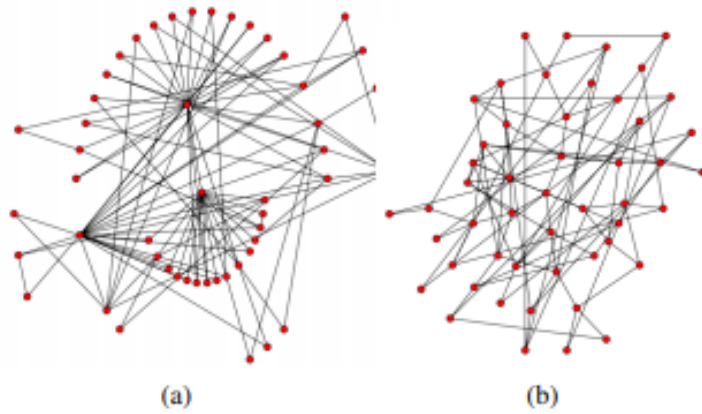


Figure : (a) Réseau sans échelle (SFN), (b) SFN avec degré maximal 5 .

### Jellyfish

Jellyfish est une solution orientée flexibilité et haut débit topologie de réseau composée de  $n$  commutateurs de port. Chaque interrupteur a  $r$  ports connectés à d'autres commutateurs et reste de la  $k = (n - r)$  ports connectés aux hôtes. Les liens sont ajoutés par connexion aléatoire d'une paire de commutateurs qui ne sont pas déjà connectés (c'est-à-dire non voisins) et ayant au moins un libre Port. La topologie peut être étendue en supprimant lien existant  $(x, y)$  et ajout d'un lien  $(x, p1)$  et  $(x, p2)$  où  $p1, p2$  sont des ports libres sur le nouveau commutateur. Ces graphiques aléatoires ont un débit plus élevé car ils ont un chemin moyen faible longueurs par rapport aux topologies symétriques telles que gros arbre. Cependant, le routage, les problèmes d'emballage doivent être adressé pour une utilisation pratique de la topologie [2].

### F10 (Fault Tolerant Engineered Network)

F10 est une simple modification de la topologie de Fat Tree pour obtenir de meilleures propriétés de tolérance aux pannes. La principale faiblesse dans le Fat Tree standard est que tous les sous-arbres au niveau  $i$  sont câblé aux parents au niveau  $i + 1$  de façon identique. Un parent qui tente de contourner un enfant en échec doit utiliser des chemins de rond-point (avec gonflage d'au moins quatre sauts) parce que tous les chemins depuis son reste des enfants jusqu'à la cible la sous-arborescence utilise le même nœud défaillant. L'AB FatTree dans F10 résout ce problème en définissant deux types de sous-arbres (appelés type A et type B) qui sont câblés à leurs parents en deux façons différentes comme le montre la figure. Avec ce simple changer, un parent avec un enfant défaillant dans une sous-arborescence de type A peut détour à ce sous-arbre en deux sauts à travers les parents de un enfant dans un sous-arbre de type B (et vice versa), parce que ceux les parents ne comptent pas sur le nœud défaillant [2].

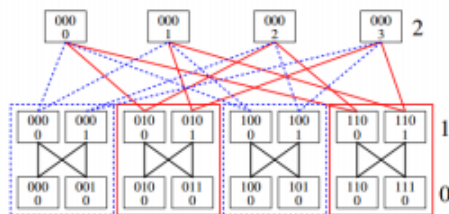


Figure : Topologie F10, les liens bleus font partie d'un sous-arbre A, les liens rouges font partie du sous-arbre B .

---

## Facebook Fat Tree

Facebook a déployé une version de la topologie Fat Tree dans afin d'atteindre une bande passante élevée, un réseau rapide déploiement et l'évolutivité des performances pour suivre nature agile des applications s'exécutant dans les centres de données. Il se compose de pods, une unité de réseau standard comme le montre figure. La bande passante de liaison montante de chaque TOR est 4 fois ( $4 * 40G = 16 * 10G$ ) la bande passante de liaison descendante pour chaque serveur connecté à elle. Pour implémenter la connectivité à l'échelle du bâtiment, il crée quatre «plans» indépendants de commutateurs vertébraux [niveau 3 commutateur], chacun évolutif jusqu'à 48 périphériques indépendants dans un avion. Le BGP4 (Border Gateway Protocol) est utilisé comme protocole de contrôle pour le routage alors qu'un contrôleur centralisé est déployé pour pouvoir remplacer tous les chemins de routage à chaque fois nécessaire, en prenant un «contrôle distribué, priorité centralisée» approche. Afin d'utiliser tous les chemins disponibles entre 2 hôtes, routage ECMP (Equal Cost Multiple Path) avec flux le hachage basé est implémenté [2].

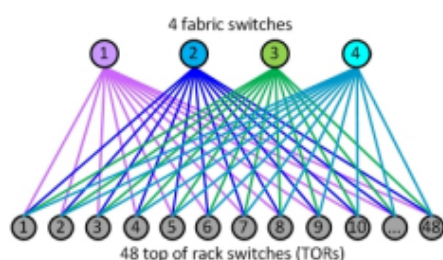


Figure : Facebook Fat Tree Topology

## 3 Les noms des premiers fondateurs de l'idée du cloud

La fin des années 1990

À ses débuts, le Cloud était utilisé pour exprimer l'espace vide entre l'utilisateur final et le fournisseur. En 1997, le professeur Ramnath Chellapa de l'Université Emory a défini le Cloud Computing comme le nouveau «paradigme informatique, où les limites de l'informatique seront déterminées par des raisons économiques plutôt que par des limites techniques seules». Cette description quelque peu lourde sonne vrai dans la description de l'évolution du Cloud.

Le Cloud a gagné en popularité à mesure que les entreprises ont acquis une meilleure compréhension de ses services et de leur utilité. En 1999, Salesforce est devenu un exemple populaire d'utilisation réussie du Cloud Computing. Ils l'ont utilisé pour lancer l'idée d'utiliser Internet pour fournir des logiciels aux utilisateurs finaux. Le programme (ou l'application) peut être consulté et téléchargé par toute personne ayant accès à Internet. Les entreprises pouvaient acheter le logiciel à la demande et de manière rentable, sans quitter le bureau.

Le début des années 2000

En 2002, Amazon a présenté ses services de vente au détail sur le Web. C'était la première grande entreprise à penser à n'utiliser que 10% de sa capacité (ce qui était courant à l'époque) comme problème à résoudre. Le modèle d'infrastructure de cloud computing leur a donné la flexibilité d'utiliser la capacité de leur ordinateur de manière beaucoup plus efficace. Peu de temps après, d'autres grandes organisations ont suivi leur exemple.

En 2006, Amazon a lancé Amazon Web Services, qui propose des services en ligne à d'autres sites Web ou clients. L'un des sites d'Amazon Web Services, appelé Amazon Mechanical Turk, fournit une variété de services basés sur le cloud, notamment le stockage, le calcul et «l'intelligence humaine». Un autre site d'Amazon Web Services est Elastic Compute Cloud (EC2), permettant aux particuliers de louer des ordinateurs virtuels et d'utiliser leurs propres programmes et

---

applications [3].

## **4 Définition d'infiniband et pourcentage d'utilisation dans les centres de données actuels**

### **4.1 Définition d'infiniband**

Type de liaison dédié à la communication de flux de données entre les processeurs et les périphériques E/S, InfiniBand présente un débit pouvant atteindre 2,5 gigaoctets par seconde et capable de prendre en charge jusqu'à 64 000 périphériques adressables. En outre, grâce à son évolutivité et la prise en charge de la qualité de service (QoS, Quality of Service) et du basculement, InfiniBand est souvent utilisé en tant que connexion serveur dans les environnements informatiques hautes performances (HPC, High-Performance Computing).

Le système de flux de données interne de la plupart des PC et des systèmes de serveur est rigide et relativement lent. À mesure que la quantité de données entrant et circulant entre les composants de l'ordinateur augmente, le système de bus existant devient un goulot d'étranglement. Au lieu d'envoyer des données en parallèle (généralement 32 bits à la fois, mais sur certains ordinateurs 64 bits) via le bus de fond de panier, InfiniBand spécifie un bus série (bit à la fois). Moins de broches et autres connexions électriques sont nécessaires, ce qui réduit les coûts de fabrication et améliore la fiabilité. Le bus série peut transporter plusieurs canaux de données en même temps dans un signal de multiplexage. InfiniBand prend également en charge plusieurs zones de mémoire, chacune pouvant être traitée par des processeurs et des périphériques de stockage.

L'InfiniBand Trade Association considère le bus lui-même comme un commutateur car les informations de contrôle déterminent l'itinéraire suivi par un message donné pour se rendre à son adresse de destination. InfiniBand utilise Internet Protocol Version 6 (IPv6), qui permet une extension presque illimitée de l'appareil.

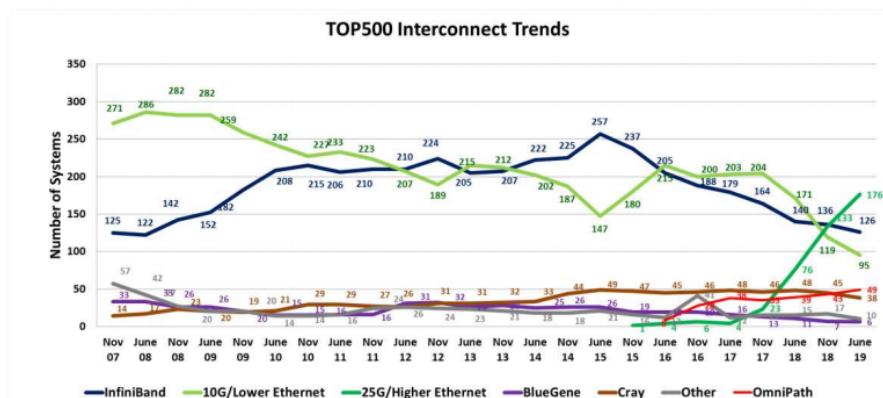
Avec InfiniBand, les données sont transmises en paquets qui forment ensemble une communication appelée message. Un message peut être une opération de lecture ou d'écriture à accès direct à distance (RDMA), un message d'envoi ou de réception de canal, une opération basée sur une transaction réversible ou une transmission multidiffusion. Comme le modèle de canal que de nombreux utilisateurs de mainframe connaissent, toute transmission commence ou se termine avec un adaptateur de canal. Chaque processeur (votre PC ou un serveur de centre de données, par exemple) possède ce qu'on appelle un adaptateur de canal hôte (HCA) et chaque périphérique a un adaptateur de canal cible (TCA). Ces adaptateurs peuvent potentiellement échanger des informations qui garantissent la sécurité ou travailler avec un niveau de qualité de service donné[4].

### **4.2 pourcentage d'utilisation d'infiniband dans les centres de données actuels**

- La liste TOP500 a évolué pour inclure les plates-formes HPC et Cloud / Web2.0 Hyperscale. InfiniBand poursuit son leadership en tant que solution d'interconnexion la plus utilisée pour les plates-formes HPC.

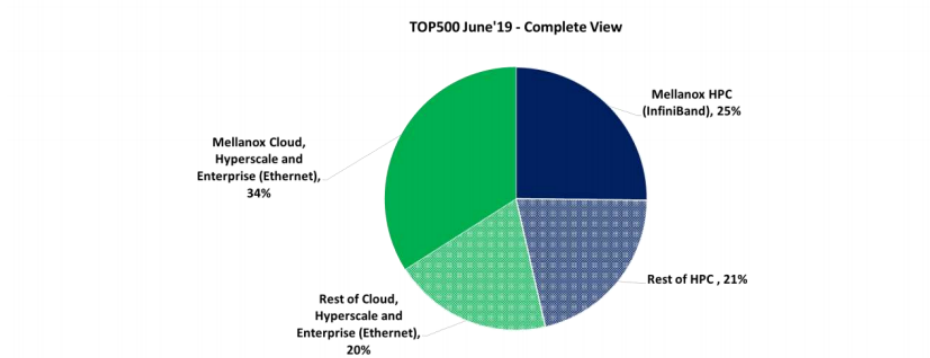
Mellanox connecte la plupart des systèmes Ethernet cloud et hyperscale 25G et plus rapides [5].





- InfiniBand accélère 55% des systèmes HPC sur la liste TOP500
- Mellanox connecte 63% du total des systèmes Ethernet
- Mellanox connecte 296 systèmes au total (59%), soit une augmentation de 37% en 12 mois (18 juin-19 juin)[5].

## Mellanox Accelerates 59% of Total TOP500 Systems



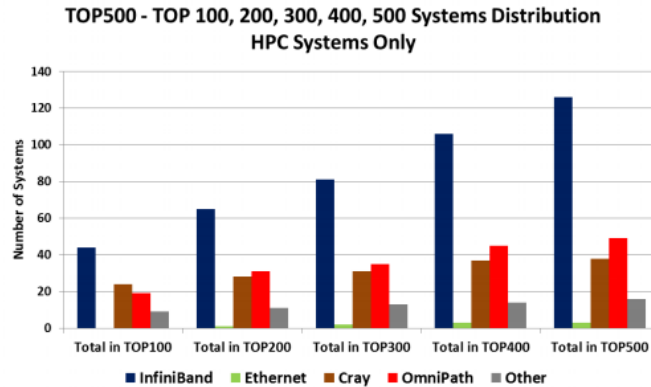
- InfiniBand est l'interconnexion la plus utilisée pour les systèmes HPC
- Performance, évolutivité, efficacité et retour sur investissement supérieurs [5].



---

## InfiniBand Solutions – TOP100, 200, 300, 400, 500

HPC Systems Only (Excluding Cloud, Hyperscale etc. Systems)



## 5 Définition classification des middlewares cloud

### 5.1 Définition DE middleware cloud

Le middleware, dans le contexte des systèmes informatiques distribués, a été décrit pour la première fois par Bernstein et al. comme un ensemble d'intermédiaires pour les composants d'un système informatique distribué. Ce concept a été largement utilisé le soulèvement de l'architecture orientée services (SOA) où les services question étaient en fait fournis par les systèmes middleware. Middleware en général est utilisé pour résumer les différences entre les systèmes hétérogènes et exposer un interface uniforme [6].

Le middleware d'infrastructure d'application (AIM) est un logiciel qui sert d'intermédiaire entre d'autres applications ou appareils. AIM est utilisé dans le contexte de l'informatique en cloud publique, hybride ou privée pour l'activation en cloud des applications existantes et nouvelles. Par exemple, il est possible de transformer des applications personnalisées existantes en applications Software as a Service avec toute l'architecture logicielle complexe gérée par le middleware de la plate-forme. L'une des meilleures façons de comprendre le middleware consiste à examiner des exemples spécifiques qui n'ont pas été conçus pour le cloud, mais que de nombreux services cloud intègrent actuellement [7].

### 5.2 classification des middlewares cloud

#### MESSAGE ORIENTED MIDDLEWARE

Ce type de middleware est une infrastructure qui prend en charge la réception et l'envoi de messages sur des applications distribuées. Il permet aux applications d'être décaissées sur diverses plates-formes et rend le processus de création d'applications logicielles couvrant de nombreux systèmes d'exploitation et protocoles réseau beaucoup moins compliqué. Il présente de nombreux avantages par rapport aux alternatives de middleware (par exemple, la logique de codage en dur) et est l'un des types de middleware les plus utilisés [8].

#### OBJECT MIDDLEWARE

L'intergiciel d'objet, également appelé courtier de demande d'objet, permet aux applications d'envoyer des objets et de demander des services via un système orienté objet. Bref, il gère la

---

communication entre les objets [8].

## **REMOTE PROCEDURE CALL (RPC) MIDDLEWARE**

Un RPC est exactement ce que cela ressemble. Il appelle des procédures sur des systèmes distants et est utilisé pour effectuer des interactions synchrones ou asynchrones entre des applications ou des systèmes. Il est généralement utilisé dans une application logicielle [8].

## **DATABASE MIDDLEWARE**

Ce type de middleware permet un accès direct aux bases de données, offrant une interaction directe avec elles. Il existe de nombreuses passerelles de base de données et options de connectivité. Il vous suffit de voir ce qui fonctionnera le mieux pour votre solution nécessaire. Il s'agit du type de middleware le plus général et le plus connu. Cela inclut le logiciel de base de données SQL [8].

## **TRANSACTION MIDDLEWARE**

Ce type de middleware comprend des applications telles que les moniteurs de traitement des transactions. Il englobe également les serveurs d'applications Web. Ces types de middleware sont de plus en plus courants aujourd'hui [8].

## **PORTALS**

Il s'agit des serveurs de portail d'entreprise. Il est considéré comme un middleware car les portails facilitent l'intégration frontale. Ils sont utilisés pour créer des interactions entre l'ordinateur ou l'appareil d'un utilisateur et les systèmes et services principaux [8].

## **EMBEDDED MIDDLEWARE**

Ce type de middleware permet des services de communication et d'intégration avec une interface logicielle ou firmware. Il sert de liaison entre les applications embarquées et le système d'exploitation en temps réel [8].

## **CONTENT-CENTRIC MIDDLEWARE**

Ce type de middleware vous permet d'abstraire un contenu spécifique sans vous soucier de la façon dont il est obtenu. Cela se fait par une simple abstraction de fourniture / consommation. Il est similaire au middleware de publication / abonnement, qui est un autre type de ce logiciel qui est souvent utilisé dans le cadre d'applications Web [8].

# **6 Définition et histoire d'opensatck et pourcentage d'utilisation dans les centres de données actuels**

## **6.1 Définition d'opensatck**

Créé en juillet 2010 par la NASA et l'hébergeur américain Rackspace, OpenStack est une offre d'IaaS 100% open-source encore en développement qui a livré son code source récemment et qui permet aux sociétés de développer leurs propres solutions d'infrastructure du Cloud Computing. Plus que trente fournisseurs soutiennent ce projet tels que : AMD, Intel, Dell et Citrix. OpenStack devrait également être intégré dans les prochaines versions d'Ubuntu comme c'est le cas

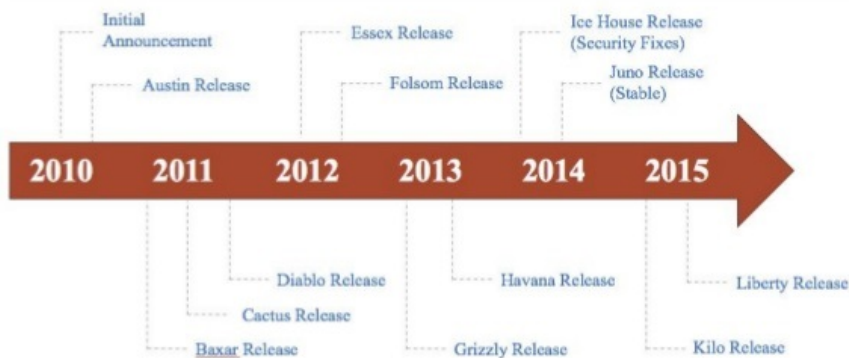
---

pour Eucalyptus. Il comprend le logiciel OpenStackCompute pour la création automatique et la gestion de grands groupes de serveurs privés virtuels et le logiciel OpenStack Stockage pour optimiser la gestion de stockage, répliquer le contenu sur différents serveurs et le mettre à disposition pour une utilisation massive de données [9].

## 6.2 histoire d'opensatck

OpenStack a été fondé le 21 juillet 2010 par Rackspace et la NASA avec plus de 25 partenaires. La mission d'OpenStack est de «produire la plateforme omniprésente d'informatique en nuage open source qui répondra aux besoins des clouds publics et privés quelle que soit leur taille, en étant simple à mettre en œuvre et massivement évolutive». Jusqu'à présent, 160 entreprises et près de 3 000 développeurs ont rejoint le projet [9].

### OpenStack Brief History

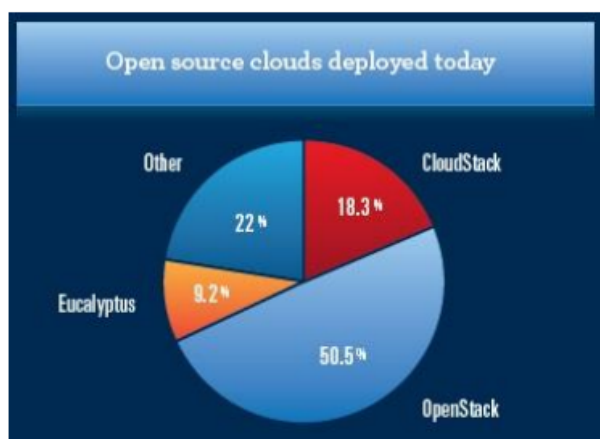


## 6.3 pourcentage d'utilisation d'opensatck dans les centres de données actuels

le choix de logiciel pour création des solutions Cloud Computing. dépend a certain critères comme :

- Open source sécurisée (Sous licence libre)
- Facile à installer et déployer
- Extensible
- Modulaire et innovante
- S'adaptant à tous types d'infrastructures existantes
- S'adressant à toutes les tailles d'entreprise
- Bien documenté
- jeune

Donc la solution qui convient le mieux et répond à nos besoins est OpenStack, la figure ci dessous présente le pourcentage d'utilisation du logiciel OpenStack par rapport aux autres solutions [16].



**Figure :** Pourcentage d'utilisation d'OpenStack

## 7 Salaire net moyen (par pays) des ingénieurs architectes des centres de données et cloud

L'ingénieur / ingénieure cloud computing (littéralement, informatique dans les nuages) s'attache à remplir plusieurs missions : sécurisation des données sensibles dématérialisées ; optimisation des consommations d'énergie des data centers ; architecture logiciel / infrastructure ; gestion Big data (données massives) en tant que data scientist.

Selon son contrat et l'entreprise qui l'emploie, l'ingénieur cloud est plus spécialisé dans l'une ou l'autre de ces missions.

Chef de projet, l'ingénieur cloud a la responsabilité de la relation entreprise cliente/fournisseur. Trois modèles de services sont à sa disposition : le SaaS (software as a service), le PaaS (platform as a service), et l'IaaS (infrastructure as a service).

L'ingénieur cloud computing a un excellent niveau en informatique. Il maîtrise de nombreux outils numériques et langages informatiques :

environnements GNU/Linux, Microsoft Windows...

services : Postfix, filtrage de contenu, Bacula...

stockage : Apache 2, FreeRadius, Proftpd, Bind, MySQL, OpenLDAP...

virtualisation : xen, KVM ou VMWare...

base de données : architecture BDD, MySQL, NFS, DRBD...

développement : PHP, Perl, liaisons SQL... [15].

Salaires (par pays) :

- la France : 94,355 euro/yr [14]
- U.S.A : 120,738 dollar/yr [13]
- Canada : 101,995 dollar/yr [13]
- Brazil : 35,000 dollar/yr [13]
- India : 6,82,987 rupee/yr[13]

- 
- Russia : 146,387 ruble/yr [14]
  - Maroc : 120,000 MAD/yr [14]

## conclusion

Au cours de ce travail, nous avons fourni une base théorique sur les centres des données et le Cloud Computing, en présentant premièrement la date ,l'emplacement et la taille des premiers et des dernières centres des données,Les noms des premiers fondateurs de l'idée des centres des données et Cloud Computing , ainsi Les tailles, pays et capacités des premiers centres de données ,En plus Les types et topologies réseaux des premiers et dernières centres de données , Enfin, nous avons présenté l'infiniband , opensatck et middlewares et le pourcentage d'utilisation d'infiniband et opensatck dans les centres de données actuels.

nous avons terminé notre travail par la description salaire net moyen (par pays) des ingénieurs architectes des centres de données et cloud .

# Bibliographie

- [1] Md. Abdur Rashid . Data Center Architecture Overview. National Academy for Planning and Development MINISTRY OF PLANNING [www.napd.gov.bd](http://www.napd.gov.bd) ,VOLUME 28, 2019.
- [2] Brian Lebednik, Aman Mangal and Niharika Tiwari . A Survey and Evaluation of Data Center Network Topologies.
- [3] Swati I. Bairagi, Ankur O. Bang, Cloud Computing : History, Architecture, Security Issues, March 2015.
- [4] Introduction to InfiniBand . Mellanox Technologies Inc , Document Number 2003WP.
- [5] ] Interconnect Your Future Enabling the Best Datacenter Return on Investment, TOP500 Supercomputers, June 2019 .2019 Mellanox Technologies .
- [6] Amirhossein Farahzadi, Pooyan Shams, Javad Rezazadeh, Reza Farahbakhsh , Middleware Technologies for Cloud of Things - a survey ,University of Technology Sydney, Australia.
- [7] Priscila Cedillo, Javier Jimenez-Gomez, Silvia Abrahao, Emilio Insfran ,Towards a Monitoring Middleware for Cloud Services .Universitat Politècnica de València Camino de Vera, s/n, 46022, Valencia, Spain .
- [8] M. Saranya and A. Anusha Priya .A Study on Middleware Technologies in Cloud Computing . IJIRST –International Journal for Innovative Research in Science Technology| Volume 4 | Issue 3 | August 2017 ISSN (online) : 2349-6010 .
- [9] Bui, Tuan Anh. Cloud network performance analysis : an openstack case study. January 2016.
- [10] [blog.cloudware.bg/en/the-history-of-data-centers/](http://blog.cloudware.bg/en/the-history-of-data-centers/).
- [11] Nitiket N. Mhala and N. K. Choudhari .A Simplified Methodology for Random Topology Generator builds in Ad Hoc Network Test Bed.
- [12] Mostafa Abd-El-Barr, Turki F. Al-Somani ,Topological Properties of Hierarchical Interconnection Networks : A Review and Comparison . Published 2011 .
- [13] [www.salary.com](http://www.salary.com).
- [14] [www.indeed.com](http://www.indeed.com).
- [15] [www.etudiante.com](http://www.etudiante.com).
- [16] [www.Zenoss.com](http://www.Zenoss.com)
- [17] JOAO LIMA,Top 10 biggest data centres from around the world,APRIL 2015.
- [18] Rihards Balodis and Inara Opmane,History of Data Centre Development,Institute of Mathematics and Computer Science, University of Latvia (IMCS UL).