



Association des Réseaux  
Étudiants de Paris-Saclay

Étude préliminaire publiée le 07 janvier 2016

## Technologies à déployer sur les réseaux de communication du futur campus de l'Université Paris-Saclay et utilisation de la fibre optique

Une étude de Thomas Béliné, Augustin Dury, Corentin Pane, Alexandre Prot et Arnaud Venturi.

### Introduction

L'Association des Réseaux Étudiants de Paris-Saclay regroupe les trois associations étudiantes FAI de CentraleSupélec et l'ENS Cachan qui fournissent un accès Internet et des services numériques à près de trois mille personnes. Cette fédération indépendante défend des valeurs de neutralité, liberté et sécurité sur le Net et entend mettre en place un accès à Internet à coût juste géré par des étudiants sur le futur campus de l'Université Paris-Saclay.

L'ARES se positionne comme l'interlocuteur privilégié des gestionnaires des résidences du plateau de Saclay et des aménageurs en termes d'infrastructures réseau. Elle se donne pour seconde mission de repenser les usages numériques et les habitudes des utilisateurs et consommateurs de données sur le futur campus, notamment en imaginant à grande échelle les services innovants de demain sur un campus connecté.

L'ARES a pour objectif de définir le cahier des charges des nouveaux réseaux pour les résidences futures des élèves résidant sur le plateau du Moulon et la rédaction de ce document a pour objectif d'encourager les constructeurs à faire les bons choix.

### Résultats présentés

Ce document s'intéresse particulièrement aux choix d'infrastructure physique du futur réseau (cœur de réseau, interconnexions des résidences entre elles et avec l'extérieur, etc) et donne les recommandations de l'ARES. La question du câblage en fibre optique est largement traitée et encore une fois, l'ARES présente ses préconisations. Il est enfin nécessairement rapidement fait état des technologies sans fil, qui feront l'objet d'une étude approfondie.

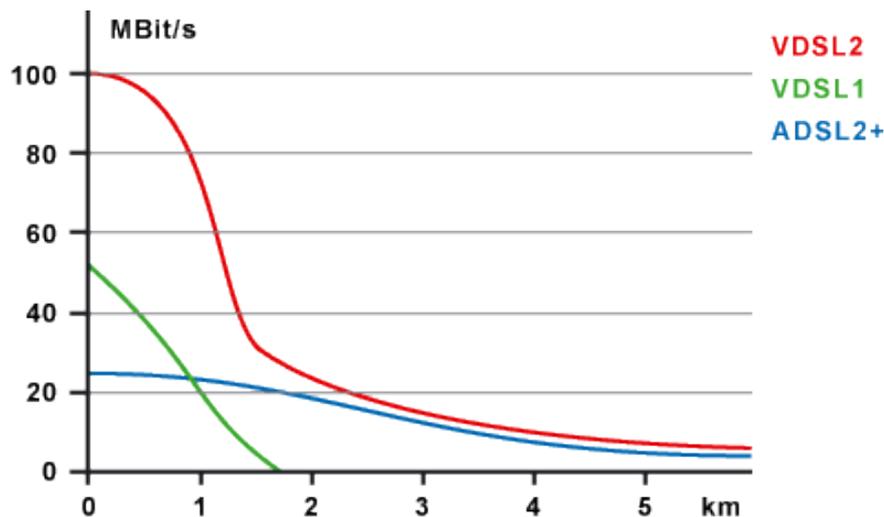
## Sommaire de l'étude

Introduction	page 1
Résultats présentés	page 1
État de l'art des technologies mises en œuvre	page 3
Performances à attendre du cuivre et de la fibre	page 7
Bande-passante et dimensionnement futur des équipements	page 9
Les futures résidences du plateau de Saclay	page 14
Recommandations de l'ARES et conclusion	page 15
Références	page 17

## I-État de l'art des technologies mises en œuvre

### Situation actuelle

Une grande partie de l'Europe utilise l'ADSL, sur un réseau dit « en cuivre » et dont les infrastructures maillent le territoire depuis les années 90. Cette technologie asymétrique (du point de vue de l'utilisateur final, le débit de téléchargement est très supérieur au débit de téléversement) voit sa bande passante disponible diminuer avec la distance entre l'abonné et le point de raccordement le plus proche.



*Illustration de l'atténuation de l'ADSL avec la distance.*

Par conséquent une armoire de raccordement éloignée induit le plus souvent une connectivité réseau de qualité médiocre : la distance caractéristique d'atténuation du signal est de 1km, distance au-delà de laquelle le signal chute fortement.

La fibre optique permet quant à elle des pertes très faibles sur la distance, les distances caractéristiques d'atténuation se comptent en dizaines de kilomètres. En France, les réseaux des opérateurs sont en fibre optique, tout comme les câbles qui relient les différents continents.

Dans l'optique de garantir aux particuliers des débits plus performants, les opérateurs déploient leurs réseaux de fibre optique sur tout le territoire selon un plan national sous la régulation de l'ARCEP, l'autorité compétente en matière de télécommunications (Autorité Régulatrice des Communications Électroniques et des Postes). On parle de « très haut débit » quand l'utilisateur final dispose sur son terminal communiquant de plus de 30Mbps.

Dans le contexte du déménagement sur le plateau de Saclay, la construction d'un réseau de communication capable de soutenir une demande accrue de bande passante susceptible d'évoluer avec le temps est essentielle : d'une part en raison de la présence de multiples centres de recherche de pointe dont le besoin en débit est élevé et d'autre part en raison de la forte densité d'étudiants dont l'utilisation de bande passante est croissante.

## Typologie des aménagements de fibre optique

Le choix d'un campus entièrement fibré est soumis à la multitude de technologies de fibre (monomode, multimode...) et choix de câblage différents sur lesquels peut reposer l'infrastructure. Il est indispensable de définir exactement quelle sera l'architecture choisie, car cette décision impacte et engage l'avenir du campus au moins à court et moyen terme.

Ces différentes architectures font varier un unique critère : l'éloignement de l'utilisateur final à la terminaison fibrée. L'article de Wikipedia, l'Encyclopédie libre, apporte de nombreux détails à ce sujet [1].

En amont (au plus près des interconnexions vers le réseau Internet) se trouve de la fibre optique. Les plus grandes dorsales (*backbone*) internationales du réseau Internet sont en fibre optique capable de supporter plusieurs terabits de données par seconde. Les réseaux locaux d'entreprise ou de résidences sont souvent installés en fibre optique, car celle-ci offre davantage d'évolutivité pour la connexion en autorisant des débits très élevés. La problématique principale est de définir l'endroit où s'arrête la liaison fibre et où reprend le câble (c'est-à-dire le cuivre ou autre matériel non optique) pour relier les utilisateurs finals.

- **FTTN** (*fibre jusqu'au quartier*) : installer la fibre jusqu'au cœur du réseau, et relier entre eux les bâtiments et l'utilisateur final en câble, ou avec une paire de cuivre classique (VDSL). Cette solution a peu d'arguments en sa faveur et résulte historiquement de l'ajout de la connectivité Internet sur les infrastructures téléphoniques préexistantes. Les pertes sont assez élevées dès que l'on approche et a fortiori dépasse la centaine de mètres entre deux bâtiments. Sur les nombreux réseaux internes que rassemble l'ARES, les liens entre bâtiments sont fibrés et le FTTN constitue un retour en arrière. Cette solution est rejetée *a priori*.
- **FTTB** (*fibre jusqu'au bâtiment*) : installer la fibre jusqu'aux locaux techniques des bâtiments (en sous-sol, au rez-de-chaussée ou à proximité immédiate du bâtiment) et utiliser du cuivre en liaison verticale, c'est-à-dire pour acheminer la connexion depuis le local technique jusqu'à l'utilisateur dans chaque appartement ou chambre. Les périphériques connectés le sont donc soit par câble Ethernet (box, bornes wifi, ordinateurs) soit sans-fil (ordiphones, tablettes, ordinateurs).
- **FTTLa** (*fibre jusqu'au dernier amplificateur*) : installer la fibre jusqu'au dernier matériel actif (à chaque étage dans les très gros bâtiments), et à câbler seulement les derniers mètres. Cette solution est identique à la solution FTTB dans les

bâtiments de taille modeste car le dernier matériel actif se trouve dans l'unique local technique.

- **FTTH** : installer la fibre de bout-en-bout jusqu'à la box de l'utilisateur final. L'utilisateur est ensuite relié à sa box par un câble Ethernet (RJ45) classique ou en WiFi. Cette architecture nécessite l'installation de convertisseurs fibre - Ethernet (appelés aussi *transceivers* ou *transcepteurs*) dans chaque chambre ou appartement ou presque. Ils ont l'inconvénient d'être des dispositifs actifs, ce qui signifie un besoin en alimentation électrique, mais aussi d'être coûteux et fragiles. Par ailleurs, la fiabilité de ces dispositifs est limitée (le branchement d'une fibre optique est très sensible), et génère de très importants coûts de maintenance. Pour justifier leur utilisation, il faudrait des gains en performances et fiabilité du réseau très conséquents. À l'heure actuelle, utiliser des *transceivers* est le seul moyen d'avoir de la fibre optique jusqu'au mur de l'utilisateur final, car la seule connectique filaire des PC est (aujourd'hui) le RJ45.
- Il existe une option de **fibre en boucle** qui est proche de FTTH, mais mutualise la fibre optique terminale pour une dizaine de chambres ou appartements en une grande boucle. Le gain en termes de prix n'est pas énorme car la fibre a un prix au mètre linéaire négligeable par rapport au coût des connectiques qu'elle nécessite. La fiabilité de l'architecture est en revanche considérablement réduite : il suffit qu'un utilisateur peu consciencieux abîme sa fibre ou qu'une défaillance électrique éteigne un des transceivers pour que l'intégralité des logements reliés à cette boucle soit coupée du réseau, et l'intervention technique demande dans la plupart des cas une ouverture des murs, et donc de lourds travaux de maintenance. L'ARES écarte cette piste de l'éventail des possibilités.

## Les obligations des opérateurs vis-à-vis de l'État

Il s'agit du *plan France très haut débit*, à consulter sur le site web du gouvernement [2]. Il prévoit une couverture de la population en "très haut débit" d'ici à 2025.

Le débat est actif actuellement, notamment avec SFR – Numéricable qui propose aux abonnés du **FTTB** avec terminaison câble sous le nom de « fibre ». La jurisprudence considère cependant que la différence de qualité de réseau constatée ne justifie pas une dénomination distincte, notamment car sont assimilés commercialement « fibre » et « très haut débit » (débit supérieur à 30Mbps). Quelle que soit l'appellation, il est essentiel de garder en tête que la qualité du réseau fourni aux utilisateurs est l'élément déterminant, et doit primer sur des considérations techniques ou d'appellation. Pour l'ARCEP, le terme « fibre » (commercialement parlant) désigne **FTTH** ou **FTTLA**. Le plan très haut débit prévoit de dérouler la fibre jusqu'aux immeubles, et non de s'arrêter au trottoir. Bien évidemment, l'ARES n'a pas d'obligation de déploiement de fibre optique imposée par l'État au vu de son échelle d'action. Cependant, il est bon de connaître les raisons qui poussent les organismes de régulation à faire ces choix, afin de mieux comprendre les enjeux.

## Le prix pour l'utilisateur final

Il arrive d'entendre que l'accès fibre coûte plus cher que le cuivre. En réalité la fibre est moins chère au mètre linéaire que le cuivre : les câbles de catégorie *6a* adaptés à l'Internet haut débit possèdent notamment un blindage onéreux afin de lutter contre des phénomènes de bruit de type diaphonie.

L'enjeu n'est pas le prix de la longueur de la fibre optique, mais celui de sa connectique, qui est difficile à monter (prises jarretières) : il faut une grande précision dans le branchement de la fibre, même par des utilisateurs avertis, alors que les lamelles cuivre composant la prise Ethernet RJ45 restent simples à brancher par n'importe qui.

Il s'agit enfin de noter que le prix des équipements réseau chute avec le temps et que le coût des équipements supportant des débits supérieurs d'ici quelques années sera sensiblement le même que le coût d'un équipement standard aujourd'hui.

## II-Performances à attendre du cuivre et de la fibre

### Le cuivre est une technologie encore en évolution

Le principal reproche fait au cuivre actuellement est son débit, plus faible que celui de la fibre optique. Cependant, il ne faut pas confondre la technologie utilisée et son implémentation. Là où une bonne connexion de type ADSL2 a un débit proche de 20 Mbps, le VDSL2 est proche de 100 Mbps avec le même cuivre, mais exploitant une technologie différente. Jusqu'où saura aller le cuivre ? L'Ethernet 100Mbps est répandu pour le matériel des ordinateurs personnels. Il est aujourd'hui très fréquent que les cartes réseau des ordinateurs acceptent aussi l'Ethernet Gigabit (jusqu'à 1Gbps). Du côté des matériels actifs des opérateurs (routeurs et commutateurs), on trouve aujourd'hui principalement de l'Ethernet Gigabit, mais il n'est pas rare de trouver 10Gbps. Quelles sont les limites ?

Les recherches en cours semblent montrer qu'à l'avenir, le maximum de 100 Gbps avec du câble Ethernet sera atteint. Il est déjà actuellement garanti, avec le câble de catégorie 6a (câble Ethernet standard, plus onéreux qu'une paire de cuivre), d'avoir de l'Ethernet 10Gbps, comme standardisé par l'IEEE et l'ISO, et appelé *10GBASE-T*.

La distance maximale du 10Gbps Ethernet est de 100m, ce qui apparaît comme un ordre de grandeur acceptable pour les appartements d'une résidence étudiante, à la condition que les locaux techniques sont bien répartis dans ce bâtiment. Cette limite de 100m s'applique également aux technologies déjà existantes d'Ethernet 10Mbps, 100Mbps et 1Gbps.

Les sources concernant la recherche sur le 100Gbps sur du cuivre sont disponibles en [3] et [4] mais leurs progrès sont pour le moment confidentiels.

Ces technologies restent chères, mais leur adoption se fera dans le temps, par remplacement progressif des routeurs et des ordinateurs et sans avoir à remplacer le câblage d'origine qui est enterré, dans le sol et les murs et donc difficile d'accès. A la création du réseau du plateau de Saclay en 2017, les routeurs supporteront tous des débits de 1Gbps mais à l'avenir supporteront des débits encore supérieurs.

## Les performances réelles de la fibre optique

Les fibres sous-marines ont des débits de l'ordre du Tbps (tera bits par seconde), quand les particuliers se voient promettre des débits entre 100 Mbps et 1Gbps. Le débit réel observé est inférieur, mais augmente d'année en année. La moyenne observée en 2015 chez les particuliers aux offres d'abonnement Internet avec box dites « fibre » est de 100Mbps [5]. Le facteur limitant n'est généralement pas la fibre en elle-même, mais provient plutôt soit des box des opérateurs d'une génération inférieure (même si la plupart sont dimensionnées pour plus de 500Mbps), soit d'un wifi médiocre en interférence avec les émissions voisines, soit de systèmes d'exploitation peu optimisés pour le réseau soit encore d'une infrastructure insuffisante en amont. Cependant, il est prévisible qu'avec la dégressivité des prix et les améliorations techniques (utilisation du multiplexage, de fibres multimodes, de polarisation de la lumière) le débit réellement accessible augmente encore chez les particuliers.

## Des performances tout à fait similaires

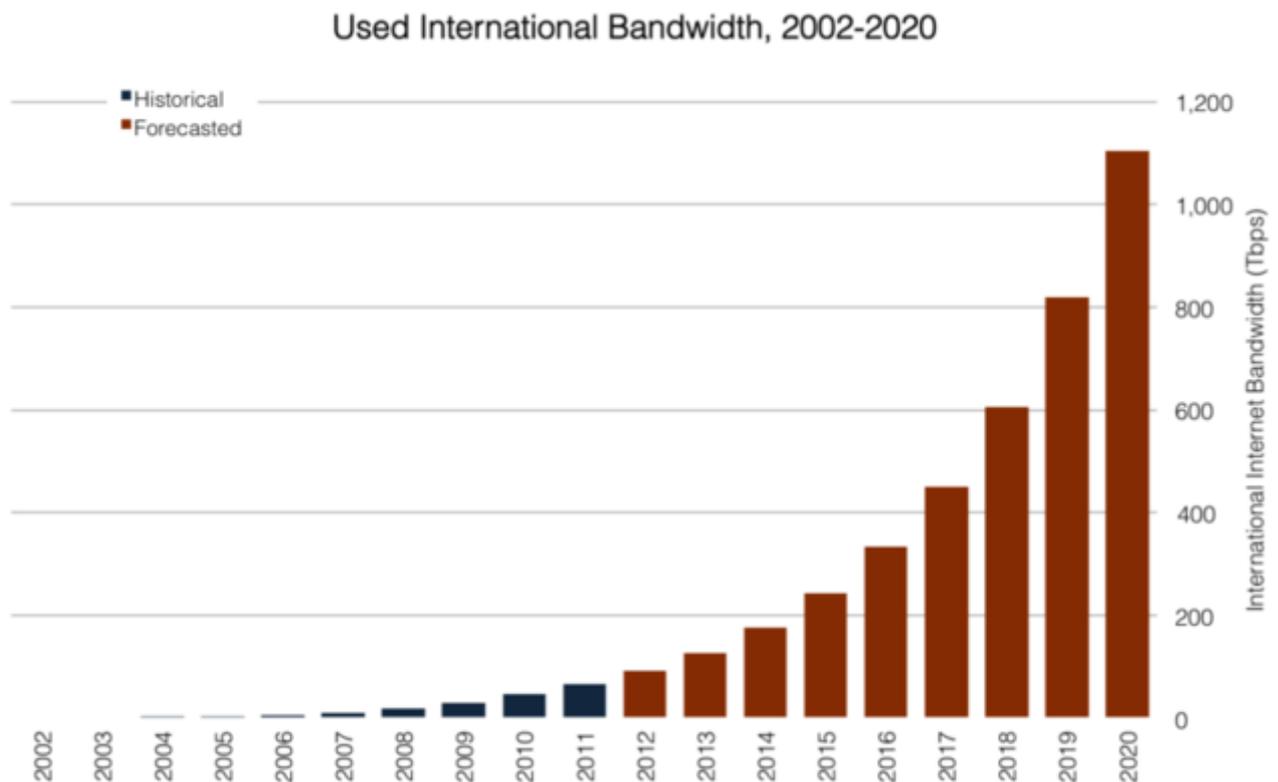
Dans l'état actuel des choses, les deux technologies (fibre ou cuivre) offrent des perspectives similaires. À l'avenir, on estime que le cuivre connaîtra un plafond à 10 Gbps, voire 40 Gbps selon les progrès techniques. Il reste à estimer quand ce plafond deviendra réellement limitant : c'est le sujet de la partie III.

### III-Bande-passante et dimensionnement futur des équipements

#### Usages futurs de la bande-passante

L'objectif n'est pas d'essayer de prédire l'avenir sur l'utilisation à long terme d'internet (ce qui serait illusoire), mais d'essayer d'obtenir un ordre de grandeur réaliste de l'augmentation de l'utilisation de la bande passante qui sera nécessaire dans les prochaines décennies.

Jusqu'ici, la demande en bande passante a augmenté de manière exponentielle, et continue de le faire à l'échelle mondiale dans les 5 années à venir, comme le montre le graphe ci-dessous. Il est à noter que le débit consommé double tous les deux ans environ, amenant les utilisateurs actuels de « très haut débit » (30Mbps) à dépasser le Gigabit par seconde (1Gbps) après 2025 seulement, débit encore inférieur aux capacités actuelles du cuivre RJ45.



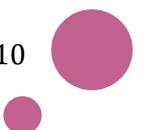
Source : [6]

Au vu des tendances actuelles, c'est le trafic vidéo qui représente et représentera une partie très majoritaire de la consommation de bande-passante. Les documents, livres électroniques, sauvegardes, musiques même sans perte, téléchargements de jeux vidéo (par exemple depuis des plateformes comme Steam ou Origin) et autres

utilisations du réseau sont moins importantes que le trafic vidéo, et qui à l'avenir n'ont pas vocation à augmenter de façon exponentielle. La situation est différente pour la vidéo, qui est déjà la technologie la plus gourmande : aux États-Unis, Netflix accapare 1/3 du trafic aux heures de pointe, et en 2012 la vidéo (tous types réunis) représentait 90% du débit français [7].

À eux seuls, les deux sites YouTube et Netflix dont l'activité est exclusivement la lecture en flux continu de vidéos (streaming) captent la moitié du flux descendant aux heures de pointe [8].

Par la suite, on s'intéressera aux limites du réseau uniquement en ce qui concerne la vidéo dont la demande augmente exponentiellement, sans prendre en compte l'évolution négligeable des autres usages.



## La future demande en vidéo

On a vu une augmentation exponentielle des résolutions proposées pour les supports de vidéo : DVD puis 720\*1280, 1080\*1920, et maintenant 4K et supérieur, ce qui s'accompagne d'une augmentation de la bande passante pour consommer ces médias toujours plus lourds. Sans oublier les technologies 3D qui commencent à arriver sur le marché et sont susceptibles de consommer plus de bande passante.

On peut raisonnablement se demander si cette augmentation de la résolution se poursuivra.

Il apparaît qu'au-delà d'une certaine résolution, l'œil humain n'est plus capable de faire la différence entre deux résolutions très élevées. Par exemple, la différence entre les formats "Full HD" et "4K" est modeste, et n'est perceptible qu'à faible distance de l'écran. Si on garde une distance correcte à l'écran, des résolutions très supérieures à la 4K n'arriveront pas de sitôt sur les écrans actuels. Par conséquent, il est probable que l'augmentation effrénée du nombre de pixels des appareils électroniques cesse.

Il est bon de rappeler que peu d'étudiants ont une télévision ou un moniteur indépendant de leur PC dans leur chambre ou logement universitaire.

D'autres informations sur la capacité des yeux à percevoir la différence sont disponibles en [9], [10] et [11].



## La bande-passante nécessaire pour suivre cette évolution

On estime que la taille d'un fichier de qualité DVD (encodé comme dans la majorité des cas) se situe autour de 1 Go. En 10 Gbps, ce film est téléchargé en moins d'une seconde, en 1Gbps cela dure 8 secondes.

Une vidéo en 720\*1280 (appelée commercialement "HD") nécessite un espace disque d'environ 5 Go et en 1080\*1920 (appelée commercialement "Full HD ") autour de 10 Go. Avec 1 Gbps, 90 secondes sont suffisantes pour télécharger un film en Full HD, et avec 10 Gbps, moins de dix secondes suffisent.

On annonce un premier film 4K à 140 Go [12], ce qui fait 1120 Gb, soit moins de 2 minutes avec 10 Gbps, et moins de 20 minutes avec 1 Gbps. Avec le progrès des technologies de compression multimédia, il est attendu qu'à l'avenir, pour une même qualité d'image, le débit nécessaire sera moindre : un film 4K sera raisonnablement disponible pour moins de 40 Go, ce qui représente à peine plus de cinq minutes avec 1Gbps.

En ce qui concerne la lecture en flux "streaming", pour des services comme YouTube ou Netflix, 1 Gbps ou 10 Gbps devraient permettre une lecture totalement fluide. De même donc pour les jeux vidéo, même avec le jeu en ligne en haute définition vidéo et audio qui consomme une bande-passante importante.



## Dimensionnement réel des infrastructures

Les réseaux ADSL sont actuellement dimensionnés à 150kbps en heure de pointe, et les réseaux fibrés à 1Mbps. Pour une immense majorité d'utilisateurs, la terminaison en Ethernet cuivré (jusqu'à 10Gbps) est technologiquement justifiée pendant encore longtemps : la fibre jusque chez l'habitant n'est pas prévue pour tout de suite et ne répond pas à un besoin ni immédiat ni futur.

La connectivité à Internet n'est de plus pas le seul facteur à prendre en compte : de nombreuses ressources peuvent être mises à disposition sur un réseau local, que cela soit par une association de réseau, par un établissement scolaire, ou par les utilisateurs eux-mêmes. À ce titre, une connectivité très rapide (de l'ordre de plusieurs centaines de Mbps) sur un réseau interne présente un intérêt encore plus marqué.

Il n'a été jusque-là été question que de la vitesse théorique maximale pour l'abonné : il faut également prendre en considération la somme des débits nécessaires pour satisfaire tous les utilisateurs et prévoir un accès global du plateau de Saclay suffisamment dimensionné. Les prévisions de l'ARES se basent sur son expérience accumulée et une faible évolution des débits sur le court-terme : elle prévoit un débit symétrique global de l'ordre du gigabit par seconde à partir de son implantation, pour monter à moyen terme à 10 Gbps, et encore davantage sur le long terme. Ce document ne vise qu'à explorer les possibilités de câblage des résidences elles-mêmes, et pas de la connexion externe. Il est évident que le cas extrême où l'ensemble des utilisateurs exploite le maximum de leur connexion simultanément saturerait le lien externe. Il s'agit d'une situation théorique et aucune saturation n'est à attendre dans le cadre d'une utilisation réaliste.



## IV-Les futures résidences du plateau de Saclay

Selon le document de l'établissement public Paris-Saclay (EPPS) disponible en [13] (charte pour le logement étudiant, intitulée "Paris Saclay: habiter le campus", datant du 30 juillet 2012), différents logements sont à prévoir et donc différents moyens techniques d'acheminer la connexion Internet aux habitants.

La plaquette suggère quatre types de logements différents parmi lesquels trois sont des immeubles, et dont le quatrième présente des pavillons loués à plusieurs et hébergeant jusqu'à huit élèves. Dans cette configuration, il apparaît judicieux d'adopter l'architecture **FTTH/FTTB** avec une fibre jusqu'à une armoire technique dans le bâtiment et un matériel actif qui distribue la connexion à des bornes wifi et en Ethernet aux points stratégiques de l'habitation.

Il s'agit dans les trois autres cas d'immeubles à connecter. Étant donné qu'un bâtiment hébergera entre 200 et 350 élèves, il est pertinent d'adopter une approche **FTTLa** afin de limiter la distance de l'utilisateur à la terminaison de la fibre optique.



## V-Recommandations de l'ARES et conclusions

A la lumière de tous ces éléments, l'ARES présente ses recommandations concernant deux choix techniques.

**FTTLa** : fibre jusqu'aux routeurs répartis dans un bâtiment, situés probablement dans les étages, avec terminaison en cuivre jusqu'aux logements

Cette solution reçoit l'approbation des responsables techniques de l'ARES pour les raisons suivantes :

- Une connexion de qualité
- Une distance de câble entre le dernier routeur et l'utilisateur final inférieure à 100m ce qui autorise les évolutions ultérieures de l'Ethernet
- Une évolutivité facilitée car un changement de technologie implique un simple changement de matériel actif (routeur ou commutateur) sans remplacer les fibres en amont et les câbles en aval
- La transition vers la fibre de bout-en-bout ne se fera probablement pas : d'une part dépasser 10 Gbps pour l'utilisateur final n'est pas un besoin, et d'autre part les réseaux sans-fil comme le wifi font des progrès considérables en termes de qualité et de débit, et semblent à terme devoir s'imposer, pour laisser un usage marginal à l'utilisation de la prise physique (les ordiphones, tablettes intelligentes et certains ordinateurs se connectent exclusivement à Internet sans fil).

Il reste néanmoins certaines critiques vis-à-vis de cette solution :

- Une transition ultérieure vers la fibre jusqu'à l'utilisateur final serait coûteuse et difficile à réaliser
- Une disparition, même très peu probable, du standard Ethernet demanderait un remplacement onéreux du câblage ou l'installation d'adaptateurs entraînant une baisse de performance

**FTTH** : fibre de bout-en-bout jusqu'à l'utilisateur final

Cette solution se présente comme la plus visionnaire de toutes, au point d'être futuriste et de prendre de l'avance sur la solution de 2030.

De nombreux inconvénients sont à prendre en compte cependant :

- Aucun ordinateur actuel n'a de connectique fibre, contrairement au RJ45 pour le cuivre qui habille encore de nombreuses machines (soit directement, soit par l'intermédiaire de convertisseurs de type Thunderbolt). Il est donc nécessaire d'installer un *transceiver* dans chaque chambre avant l'arrivée et la démocratisation des ports fibre sur les ordinateurs. Il faut garder à l'esprit que si la transition vers le « tout fibre » ne se fait jamais, en faveur pour l'Internet nomade, alors les infrastructures **FTTH** auront perdu leur pari lourd d'investissement. Peut-être qu'à l'avenir, les ordinateurs seront dotés de connectique fibre, mais aujourd'hui seule la prise RJ45 permet l'accès filaire à Internet. La piste du changement de connectique est peu probable en raison de l'augmentation de l'utilisation de la technologie WiFi et de la 4G à laquelle on assiste aujourd'hui : les tablettes et ordiphones sont exclusivement sans-fil. L'Internet devient de plus en plus nomade, la question n'est plus de savoir s'il faut installer la fibre mais savoir si les ordinateurs continueront à utiliser des câbles au profit des technologies Wifi qui prennent de plus en plus de terrain.
- Les fibres sont plus sensibles que les câbles aux poussières et aux aspérités et logiquement multiplier leur nombre accroît la maintenance nécessaire. Les risques de dégradation par torsion ou compression sont importants chez l'utilisateur négligent.
- Les matériels actifs dotés d'une connectique entièrement fibre consomment de l'énergie et sont d'une part très peu répandus sur le marché, et d'autre part beaucoup plus onéreux qu'un matériel avec connectique RJ45, même très haut débit. Ces frais sont à la charge des opérateurs et par répercussion, à la charge des consommateurs.

L'ARES conclut cette étude en marquant une préférence prononcée pour l'option **FTTLa** : installer un réseau fibré jusqu'aux derniers routeurs dans les bâtiments (éventuellement en **FTTB** pour les bâtiments modestes) et effectuer la terminaison en câbles en cuivre RJ45 de catégorie 6a, au moyen de gaines pour faciliter remplacement éventuel. L'ARES émet l'avis que le cuivre a encore quelques années devant lui et que la consommation montante de bande-passante ne justifiera l'utilisation de fibre de bout-en-bout qu'à partir éventuellement de 2025, d'autant que les ordinateurs actuels ne sont pas dotés de ports fibre justifiant une transition immédiate.

## VI-Références

### Liste des références :

- [1] <https://fr.wikipedia.org/wiki/FTTx>
- [2] <http://www.gouvernement.fr/action/le-plan-france-tres-haut-debit>
- [3] <http://www.tomshardware.fr/articles/ethernet-100gbps,1-21179.html>
- [4] <http://www.tgdaily.com/trendwatch-features/34854-update-cat-7-copper-theorized-to-transmit-100-gbps-in-excess-of-100-meters>
- [5] <https://www.degrouppnews.com/dossier/barometre-trimestriel-nperf-des-debits-internet-fixes-la-fibre-optique-de-bouygues-telecom-flambe>
- [6] <http://arstechnica.com/business/2012/05/bandwidth-explosion-as-internet-use-soars-can-bottlenecks-be-averted/>
- [7] <http://meta-media.fr/2012/07/12/la-video-represente-deja-90-du-traffic-internet-en-france.html>
- [8] <http://www.nextinpact.com/news/84354-netflix-et-youtube-captent-50-dl-en-amerique-nord-bittorrent-4.htm>
- [9] [http://www.frandroid.com/dossiers/211078\\_course-4k-levolution-definition-resolution-dalles-necessaire](http://www.frandroid.com/dossiers/211078_course-4k-levolution-definition-resolution-dalles-necessaire)
- [10] <http://forum.nextinpact.com/topic/170474-mon-point-de-vue-sur-linteret-du-4k/>
- [11] [https://fr.wikipedia.org/wiki/R%C3%A9solution\\_spatiale\\_des\\_images\\_matricielles](https://fr.wikipedia.org/wiki/R%C3%A9solution_spatiale_des_images_matricielles)
- [12] <http://www.nikopik.com/2012/06/le-premier-film-en-4k-disponible-au-telechargement-140-go-dimages-a-tomber-par-terre.html>
- [13] [http://www.media-paris-saclay.fr/wp-content/uploads/2013/06/Charte-30072012\\_hd.pdf](http://www.media-paris-saclay.fr/wp-content/uploads/2013/06/Charte-30072012_hd.pdf)

Site de l'ARCEP : <http://www.arcep.fr>

<http://myares.fr>  
[contact@myares.fr](mailto:contact@myares.fr)

 [@AresReseaux](https://twitter.com/AresReseaux)



Communiqué : <http://myares.fr/pdf/CP-Etude-ARES-deploiement-de-la-fibre.pdf>

Lien presse : <http://myares.fr/presse.html>

---

Résidence C.É.S.A.L.  
Association ARES  
1, rue Joliot Curie  
91190 Gif-sur-Yvette

---