

# Coûts des réseaux universitaires

Groupe de travail « Coût des réseaux »

Comité Réseau des Universités

<http://www.cru.fr/grecore/>

## Résumé

*Le CRU a constitué un groupe de travail dont l'objectif est de fournir des éléments concernant le coût des réseaux universitaires, aussi bien pour les responsables techniques que pour les différents décideurs. L'article explique d'abord les difficultés rencontrées et la méthode utilisée, qui n'est pas figée mais est destinée à être reprise et affinée sur chaque site universitaire. La partie consacrée aux bâtiments (coût de l'ordre de 70 €/an par prise activée) montre l'importance majeure du coût du câblage interne et les incertitudes actuelles liées au réseau sans fil. La partie qui va du campus à Internet (coût de l'ordre de 40 €/an par utilisateur potentiel, avec une répartition de l'ordre de moitié en ville, un quart en région et un quart pour Renater) détaille en particulier les grandes variations dans l'organisation des réseaux métropolitains, les bénéfices de la mutualisation, ainsi que la délicate question des réseaux régionaux et de la dispersion géographique. Pour finir, deux cas-types essaient de conclure globalement et de répartir les coûts entre étudiants et personnels. La conclusion montre que les choix stratégiques locaux vont faire varier de manière importante le coût des réseaux universitaires et liste quelques questions qui restent ouvertes.*

## Mots clefs

Aspects économiques, Coûts, Infrastructure, Réseau de campus, Réseau métropolitain, Réseau régional, Renater

## 1 Introduction

Si les aspects techniques des réseaux sont relativement bien maîtrisés par la communauté de l'enseignement supérieur et de la recherche, il n'en est pas toujours de même des aspects économiques pour lesquels beaucoup d'inconnues demeurent, principalement en ce qui concerne les éléments de comparaison et de synthèse.

En effet, il n'y a quasiment pas de littérature commercialement neutre sur des études de coût portant sur la totalité (bout en bout) des infrastructures de réseau et de services. A notre connaissance, il n'existe qu'une étude de l'ART sur les réseaux régionaux. Le projet Serenate (issu de l'association européenne Terena) avait amorcé un travail sur ce sujet, mais celui-ci n'a jamais été diffusé faute d'un consensus permettant sa finalisation.

Pourtant, la question de savoir combien coûte un réseau universitaire est d'une réelle importance à la fois pour le technicien et le décideur.

Le technicien doit intégrer cette problématique dans les différents aspects de son travail : résoudre au quotidien

l'équation « meilleure solution avec le budget disponible », et être capable de faire des propositions chiffrées d'évolution.

Le décideur, confronté sans cesse à des choix, doit pouvoir arbitrer avec des points de vue aussi objectifs que possible.

L'ensemble des responsables de réseau universitaire, dans sa réunion de mars 2003, a exprimé son attente d'une réponse à cette question, sous forme d'un « San Remo du réseau », par analogie avec la formule utilisée par le ministère en charge de l'enseignement supérieur pour la dotation des crédits de fonctionnement aux universités.

Fort de ces réflexions et de cette attente, le CRU (Comité Réseau des Universités) a initié en 2004 une démarche, à l'aide d'un groupe de travail<sup>1</sup>.

L'objectif de ce groupe est de connaître le coût des réseaux universitaires. Derrière cette question apparemment simple se cachent de nombreuses variables. Notre travail a consisté à identifier et évaluer ces différentes variables, et à les documenter pour que chacun puisse confronter son environnement aux résultats obtenus.

Par « coût du réseau », nous entendons le coût annuel consolidé TTC du réseau, depuis la prise murale ou la borne sans fil jusqu'à l'Internet. Ce coût inclut :

- les investissements initiaux, sous la forme d'un coût d'amortissement annuel ;
- les frais de fonctionnement ;
- et le coût des ressources humaines associées (installation, administration, services).

L'objet de notre travail est d'évaluer les coûts réels, mais n'aborde pas la question de l'origine du financement (établissement, collectivités territoriales, Etat, etc.).

Il faut considérer le travail accompli comme une première étape. Nous pensons avoir identifié les principales rubriques de coût, et notamment les coûts dits « cachés ». Nous avons cherché à réduire certaines fourchettes de coût. Nous sommes conscients que ce travail doit être poursuivi notamment pour affiner certains paramètres et hypothèses.

Le référentiel obtenu doit pouvoir être utilisable par tous :

- responsables techniques de réseau universitaire ;
- équipes de direction des établissements (universités, écoles, etc.) et des organismes de recherche ;
- financeurs : ministère et collectivités territoriales, notamment pour la rédaction des contrats quadriennaux

---

<sup>1</sup> Jacques Allo (Angers), Pierre David (Strasbourg), Jean-Claude Girard (Paris), Jean-Paul Le Guigner (CRU), Christian Lenne (Grenoble), Amar Oussalah (Marseille), Martine Schwaab (Nancy) et Gérard Tempelman (Lille).

d'établissement et des contrats de plan Etat-région (CPER).

Après une description de la méthode utilisée, l'article présente les éléments constitutifs des coûts, pour un bâtiment, un campus, un réseau métropolitain, régional et Renater. Des hypothèses de coût global sont ensuite examinées permettant ainsi d'esquisser quelques conclusions.

Dans cet article où nous ne nous plaçons pas dans une démarche d'audit, nous avons préféré occulter le nom des sites correspondant aux différents réseaux étudiés.

## 2 Méthode utilisée

### 2.1 Difficultés de l'exercice

L'objectif final n'est pas d'obtenir un chiffre unique comme « un point réseau = X € par an, un utilisateur du réseau = Y € par an », ce qui serait trop réducteur et permettrait toutes sortes d'interprétations erronées.

Nous avons plutôt souhaité fournir quelques chiffres significatifs pour donner des ordres de grandeur et également un catalogue de coûts utilisables, comme par exemple : « fibre optique posée et testée = Z € par mètre linéaire + T € ».

Les difficultés rencontrées dans notre travail ont surtout tenu à la diversité des situations concrètes rencontrées du fait des différents contextes politiques (approches stratégiques, niveau de mutualisation, rapports entre réseau métropolitain et réseau régional) et opérationnels (services internes, externes...). Cette variété de contextes génère des divergences dans la réalité des chiffres et la définition des différentes rubriques de coût.

A notre surprise, même pour certains éléments qui peuvent paraître connus a priori (exemple du mètre de fibre optique), les chiffres fournis par les différents responsables de réseau universitaire présents dans le groupe de travail diffèrent parfois.

De plus, dès que l'on aborde les éléments de coût ayant une dépendance par rapport à l'architecture de réseau choisie, les situations sont encore plus variables et la convergence vers des chiffres consensuels plus problématique.

Sans aucun doute, l'exemple de divergence le plus flagrant réside dans les interprétations de la notion de «réseau métropolitain», qui ne couvre pas le même périmètre suivant les villes :

- interconnexion de plusieurs réseaux d'établissement distincts ;
- interconnexion des réseaux des différents campus ;
- notion de réseau de campus élargi à une ville (le réseau métropolitain allant jusqu'à chaque bâtiment de chaque campus) ;

- cas hybrides des précédents ;
- et, en l'absence d'infrastructure fibre dédiée, ensemble de liaisons opérateur qu'il sera peut-être difficile d'isoler d'un réseau régional.

Une difficulté analogue apparaît pour les réseaux régionaux dont l'organisation et le périmètre divergent beaucoup d'une région à l'autre.

### 2.2 Décomposition en couches

Afin de faciliter notre travail, mieux expliquer notre démarche et vous permettre d'entreprendre des calculs similaires dans votre contexte, nous avons retenu un modèle de décomposition en couches pour déterminer les différentes catégories de coût sans omission.

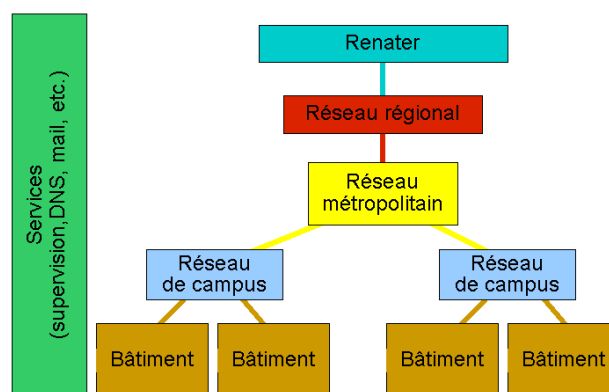


Figure 1 - *Modèle en couches*<sup>2</sup>

En fonction de l'architecture du réseau sur une ville, la couche «réseau de campus» ou la couche «réseau métropolitain» peuvent ne pas exister.

La couche «réseau régional» (voir partie 4.3) peut aussi s'avérer inutile si le réseau métropolitain est directement relié à Renater.

Elle est dans certaines régions difficile à isoler de la couche «réseau métropolitain». Concrètement, cela veut dire que l'absence de réseau métropolitain est palliée par le réseau régional, ce qui entraîne un surcoût de ce dernier, car il correspond alors à deux de nos couches.

La partie «services» concerne toutes les couches, mais nous ne l'avons en fait analysée que pour les couches «réseau de campus» et «réseau métropolitain». Pour les autres couches, elle est intégrée.

<sup>2</sup> La couche « bâtiment » comprend les liaisons entre bâtiments, la couche « réseau métropolitain » les liaisons entre campus, la couche «réseau régional» les liaisons entre villes et la couche « Renater » les liaisons entre régions, vers l'international et vers l'Internet global.

## 2.3 Approche microscopique et approche macroscopique

Nous avons été amenés à utiliser deux approches très différentes d'une part pour le chiffrage de la couche « bâtiment » et d'autre part pour le chiffrage de toutes les autres couches, y compris les « services ».

Au niveau de la couche « bâtiment », quels que soient les établissements, l'architecture réseau est toujours similaire : prises RJ 45 et bornes sans fil, câblage cuivre en étoile à partir de locaux de brassage, commutateurs dans ces locaux, etc.<sup>3</sup>

En partant de ces constatations, nous avons décidé d'utiliser une approche microscopique : identification de chaque élément, affectation d'un coût unitaire précis à chacun, cumul des coûts ramenés à une **unité** qui est la **prise activée**.

Pour les autres couches et les services, les modèles d'architectures et d'organisation mis en œuvre différent trop pour que la même méthode puisse être retenue<sup>4</sup>.

Nous avons donc utilisé une approche macroscopique consistant à prendre en considération les **coûts réels observés** ces dernières années dans des cas concrets. Ces données ont été fournies par les membres du groupe de travail, gestionnaires des réseaux concernés. Pour pouvoir comparer les différents cas étudiés, le cumul des rubriques est cette fois ramené à une **unité** qui est l'**utilisateur potentiel du réseau**.

Cette unité est toutefois contestable. Différents profils d'utilisation des ressources réseau existent correspondant à différentes catégories d'utilisateurs : étudiants, doctorants, chercheurs, enseignants, administratifs, personnels techniques, etc. La plus grande prudence est donc de mise dans l'affectation d'un coût moyen par personne<sup>5</sup>.

## 2.4 Coût global ?

Une fois le travail d'évaluation des coûts mené avec ces deux méthodes, peut-on aller plus loin et afficher des coûts globaux de réseau et des coûts moyens par rapport à une unité ?

---

<sup>3</sup> Caractéristiques de cette couche : toujours les mêmes types d'éléments, pas de disparité d'architecture, connaissance assez précise des coûts, pas de partage d'infrastructure (commutateurs d'étage ou de bâtiment).

<sup>4</sup> Caractéristiques de ces couches : différents types d'éléments, disparités importantes d'architecture et de tarif, imprécision des coûts unitaires, beaucoup de partage d'infrastructure (fibres optiques et éléments actifs des réseaux métropolitain, régionaux et Renater).

<sup>5</sup> Un étudiant, accédant au réseau 1 h par semaine pour des applications ne nécessitant pas de débit, coûte-t-il autant qu'un chercheur, ayant un poste fixe utilisant le réseau en permanence pour des applications nécessitant un haut débit et accédant au réseau par VPN lors de ces déplacements ? Il faudrait arriver à faire des calculs par type d'utilisateur, mais cela n'est pas possible compte tenu du temps imparti pour l'étude.

Il faudrait pour cela pouvoir conjuguer les deux approches, microscopique et macroscopique, ce qui d'un point de vue méthodologique est délicat et incertain. Nous ne publions donc des chiffres que pour deux cas-types.

Les caractéristiques de ces cas incluent des éléments plus précis : périmètre, catégorisation des utilisateurs, nombre d'utilisateurs de chaque catégorie par machine connectée (donc par prise activée), etc.

Nous espérons que notre référentiel permet de refaire ces calculs pour d'autres cas, et donc de permettre à chacun de pouvoir évaluer sa situation actuelle et ses projets.<sup>6</sup>

## 2.5 Ressources humaines

Nous avons utilisé, pour le calcul des coûts de ressources humaines, les grilles de salaire des personnels ITRF des différents corps : technicien (TCH), assistant-ingénieur (ASI), ingénieur d'études (IGE) et ingénieur de recherche (IGR), en utilisant l'indice moyen de chaque corps et en intégrant les différentes primes et charges.

Nous avons rajouté à ce coût salarial une somme de 4 000 € par an et par personne pour le poste de travail (ordinateurs fixe et portable, équipements spécialisés) et les frais de fonctionnement (frais de déplacement, de formation, etc.).

Corps	Masse salariale	Logistique	Total
TCH	32 385 €	4 000 €	36 385 €
ASI	38 805 €	4 000 €	42 805 €
IGE	43 629 €	4 000 €	47 629 €
IGR	49 926 €	4 000 €	53 926 €

Tableau 1 – Coûts des ressources humaines

## 3 Bâtiment

### 3.1 Éléments pris en compte

Les différents éléments retenus pour l'évaluation de la couche « bâtiment » sont présentés dans le tableau 2 suivant.

Pour chaque ligne du tableau, nous indiquons :

- les coûts minimum et maximum d'investissement (« **Imin** » et « **Imax** »), ainsi que la durée de vie estimée en année (« **durée** ») ;
- les coûts minimum et maximum de fonctionnement (« **Fmin** » et « **Fmax** ») ;
- et les coûts totaux de revient par année (« **Tmin** » et « **Tmax** »).

---

<sup>6</sup> Vous trouverez à l'URL <http://www.cru.fr/grecore/> une feuille de calcul qui permettra à chacun de saisir ses valeurs et de calculer les cas-types qui lui correspondent.

$$T_{min} = I_{min} / durée + F_{min}$$

$$T_{max} = I_{max} / durée + F_{max}$$

Il nous a semblé plus judicieux d'afficher des minima et des maxima en essayant de rapprocher le plus possible les deux valeurs. Donner des chiffres moyens aurait généré trop de désaccords. Ainsi, sauf contrainte particulière, tout projet doit pouvoir se positionner dans les fourchettes indiquées.

€	I <sub>min</sub>	I <sub>max</sub>	durée	F <sub>min</sub>	F <sub>max</sub>	T <sub>min</sub>	T <sub>max</sub>
câbl.	120	500	15	0	0	8	33
actif	30	100	5	1	5	7	25
POE	80	100	5	2	10	18	30
giga	1 500	3 500	5	150	350	450	1 050
mlFO	4	5	15	0	0	0,27	0,33
extr.	700	1 200	15	0	0	47	80
GC	20	300	15	0	0	1	20
ondul.	1 200	1 500	5	120	150	360	450
clim.	2 500	5 000	5	250	500	750	1 500
RH				9	13	9	13

Tableau 2 - Coûts unitaires « bâtiment »

Quelques explications sur les différentes lignes du tableau :

- « **câbl.** » : coût moyen par prise du câblage courant faible. Deux facteurs principaux sont à l'origine des différences de coût : la taille du chantier de câblage (nombre de prises posées en même temps) et les caractéristiques du bâtiment à câbler (précâblage dans un bâtiment en construction, réhabilitation d'un bâtiment existant avec reprise des chemins de câblage, voire câblage d'un bâtiment classé monument historique). La plupart des projets afficheront sans doute un coût inférieur à 200 €
- « **actif** » : coût par port d'un commutateur de bâtiment. « **POE** » : la même chose avec l'option « power over ethernet ». Les différences de coût constatées proviennent essentiellement des options qui peuvent être souhaitées pour un ensemble de commutateurs ou de la densité de ports. Ces coûts sont actuellement en baisse. « **FMIN** » correspond à une maintenance assurée avec un lot de matériel supplémentaire (« spare »), « **FMAX** » à un contrat de maintenance avec une société extérieure.
- « **giga** » : connexion gigabit vers le cœur du réseau de campus, au minimum un port gigabit fibre sur le commutateur de bâtiment, au maximum un commutateur gigabit d'interconnexion.
- « **mlFO** » : coût du mètre linéaire d'une fibre optique 24 brins. « **extr.** » : coût des deux extrémités et des tests (la pose de X mètres de fibre coûte donc **extr. + X x mlFO**). « **GC** » : coût du mètre linéaire de génie civil, variation très grande en fonction du terrain (pelouse, enrobé, traversée de rue, trottoir, etc.).

- « **ondul.** » et « **clim.** » : sécurisation d'un local technique, ondulation électrique et climatisation.
- « **RH** » : coût des ressources humaines nécessaires par prise activée.

L'hypothèse prise en compte pour cette dernière ligne, la plus rationnelle, basée sur des situations réelles, considère une organisation où le CRI d'établissement gère le réseau jusqu'à la prise. Dans ce cas, nous estimons qu'un « TCH » peut gérer un ensemble de 3 à 4 000 prises activées réparties dans plusieurs bâtiments : brassage, suivi des éléments passifs (chantiers de câblage, détections des pannes) et configuration de base des éléments actifs.

Si l'organisation est différente (ce travail peut être assuré par une ou plusieurs personnes dans un laboratoire, personnes qui ont par ailleurs d'autres fonctions), il faut veiller à ce que coût ne soit pas notablement supérieur.

Pour les autres services impliquant des ressources humaines (supervision, DNS, etc.), nous partons du principe que, par souci d'efficacité, ils sont assurés à un niveau supérieur soit de réseau de campus, soit de réseau métropolitain (cf. partie 4.1).

### 3.2 Bilan : coût par prise activée

Afin de pouvoir calculer un coût global par prise activée, il nous est indispensable de poser une hypothèse sur :

- le nombre de prises posées par prise activée ;
- le nombre de prises activées par local de brassage ;
- la longueur de la fibre desservant ce local.

Ces chiffres variant forcément d'un bâtiment à l'autre, nous avons considéré une hypothèse moyenne réaliste :

- ratio de 2 prises posées par prise activée ;
- bâtiment de 250 prises activées avec un local de brassage sécurisé ;
- 200 m de fibre optique et de génie civil pour connecter le bâtiment sur le cœur du réseau de campus.

D'où la formule :

$$\begin{aligned} \text{Coût global par prise activée} = & \text{câbl.} \times 2 + \text{actif} + \text{RH} \\ & + (\text{giga} + \text{ondul.} + \text{clim.}) / 250 \\ & + (200 \times (\text{mlFO} + \text{GC}) + \text{extr.}) / 250 \end{aligned}$$

et les résultats :

$$\text{minimum : 40 €/an, maximum : 133 €/an}$$

Le tableau 3 suivant reprend les coûts totaux minima et maxima rapportés à la prise activée. Il permet de visualiser l'importance relative des différents postes de coût. Il faut noter que le coût le plus important dans ces hypothèses est celui du câblage courant faible et qu'une variation importante peut provenir du choix de l'équipement actif.

€/ prise activée	Minimum	Maximum
câbl.	16	67
Actif	7	25
Giga	2	4
MIFO	0,21	0,27
extr.	0,19	0,32
GC	1	16
ondul.	1	2
clim.	3	6
RH	9	13
<b>TOTAL</b>	<b>40</b>	<b>133</b>

Tableau 3 - *Bilan « bâtiment » par prise activée*

Nous avons observé que beaucoup de projets de câblage tendaient vers le coût minimum. Aussi, pour corriger la distorsion d'une simple moyenne et obtenir un chiffre raisonnable, nous avons adopté un poids de 2 pour le minimum et de 1 pour le maximum.

Le calcul donne comme ordre de grandeur pour le coût global **71 €/an/prise activée**.

### 3.3 Réseau sans fil

Pour le calcul des coûts d'un réseau sans fil, nous nous sommes basés sur une approche de type projet d'établissement intégrant les contraintes suivantes :

- une couverture globale (planifiée à moyen terme) nécessitant pour le sérieux du service une cartographie des lieux en amont du déploiement, ainsi que l'adoption d'une architecture spécifique ;
- un service fiable, administré de façon centralisée et garantissant un seuil de performance pour l'utilisateur ;
- une sécurisation des infrastructures avec protection des bornes et authentification des accès des utilisateurs.

Les autres stratégies de déploiement n'obéissant pas à ces règles permettent peut-être de parer au plus pressé et de minimiser les coûts initiaux de déploiement, mais elles éludent quelque peu la responsabilité de l'établissement, reportent probablement les coûts à plus tard et ne nous semblent donc pas raisonnables.

Le résultat ciblé porte sur le coût global par borne rapporté à l'année et doit permettre ensuite suivant la densité d'utilisateurs potentiels par borne d'extrapoler le coût par utilisateur.

Nous avons opéré une ventilation en quatre catégories de coûts :

- **« passif »** inclut les parties câblage (courants faible, fort), fixations, protections antivols (durée de vie : 10 ans). Les variations sont issues des différences de lieux d'implantation (intérieur/extérieur, hall/bureau, hauteur)

et de leur dispersion (nombre de campus), ainsi que de la prestation d'installation (interne ou externalisée).

- **« actif »** regroupe les bornes, les commutateurs WiFi (ou autres), les coûts d'installation, le « spare » ou le contrat de maintenance, etc. (durée de vie des matériels : 3 ans). Les différences d'architecture (intelligence dans les bornes ou non, système d'authentification et effet de masse éventuel) et la dispersion (taux de concentration par commutateur) sont les deux effets qui influent le plus sur les coûts.
- **« logiciel »** porte sur les clients, les environnements d'authentification, de supervision, etc.
- **« exploitation »** se traduit soit en ressources humaines si le service se base sur les compétences internes, soit en coût de fonctionnement dans le cas de contrat d'exploitation externe. Le seuil initial (nombre de bornes prévues) et l'effet de masse sont les deux principaux différenciateurs de coût. A la différence des autres lignes contenant des éléments fiables et constatés, nous affichons ici un ordre de grandeur qu'on ne pourra affiner qu'avec un recul suffisant.

Ces quatre groupes permettent d'une part d'avoir des critères suffisamment fins de comparaison des chiffres annoncés par les uns ou les autres et d'autre part de bien identifier les zones potentielles de spécificité des différents projets. En conséquence, ceci facilitera la comparaison par rapport à votre propre démarche.

Exemple pour 4 cas réels :

€/borne/an	I	J	K	L
passif	50	20	40	32
actif	90	130	367	328
logiciel	27	17	0	0
<b>SS-TOTAL</b>	<b>167</b>	<b>167</b>	<b>407</b>	<b>360</b>
exploitation	119	238	476	182
	½ IGE	½ IGE	½ IGE	½ TCH
<b>TOTAL</b>	<b>286</b>	<b>405</b>	<b>883</b>	<b>542</b>
nb bornes	200	100	50	100

Tableau 4 – *Coûts réseau sans fil*

Quelques remarques à prendre en compte pour un ajustement éventuel de vos propres calculs :

- Nous avons considéré qu'une partie des coûts des environnements d'authentification (annuaire LDAP, serveur Radius) se trouve déjà prise en charge par ailleurs (voir partie 4.1).
- Certains projets nécessitent un client pour l'authentification, mais cette contrainte n'est pas généralisable à l'ensemble des projets.
- Des incertitudes flottent autour de la durée de vie des différentes technologies, notamment 802.11g. Et qu'en sera-t-il des technologies en cours de validation (WiMax) ?

Pour les autres domaines du réseau, le coût des phases projet est récurrent, inclus dans le coût des ressources humaines et largement mutualisé entre les établissements. Le contexte spécifique du sans fil (forte incitation de tous les établissements à déployer, technologie pas complètement mature, solutions techniques variées, partage insuffisant des compétences dû à l'urgence) a conduit chaque établissement à mener indépendamment une phase « projet » importante, que nous ne chiffrons pas ici car ponctuelle et atypique.

## 4 Du réseau de campus à Internet

### 4.1 Réseaux de campus et métropolitain

Pour ces deux couches et pour les services associés, nous sommes partis de données réelles observées sur six villes représentées dans le groupe de travail, dénommées ABCDEF. Suivant les cas, ces données concernent toute la ville ou seulement un établissement.

Ces données sont regroupées dans les trois tableaux qui suivent, où chaque ligne correspond à une rubrique et où sont indiqués les coûts annuels pour chacune des six villes. Ces coûts sont soit des coûts de fonctionnement, soit des coûts d'investissement divisés par la durée de vie estimée, correspondant à la réalité de l'amortissement progressivement mis en place dans les établissements. Un dernier tableau fait une synthèse globale.

€/ an	A	B	C	D	E	F
actif	34 325	50 000	17 500	92 600		
locaux	20 000	0	11 000	0		
Fonct.	22 200	9 000	15 000	30 000		
RH	137 184	87 163	47 629	285 774		
<b>TOTAL</b>	<b>213 729</b>	<b>146 163</b>	<b>91 129</b>	<b>408 374</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
util. pot.	32 000	23 000	10 000	53 000	50 000	65 000
<b>T/up</b>	<b>6,68</b>	<b>6,35</b>	<b>9,11</b>	<b>7,71</b>	<b>0</b>	<b>0</b>

Tableau 5 – Coûts macroscopiques « réseau de campus »

Signification des différentes lignes :

- « **actif** » : coût des éléments actifs des cœurs de réseau de campus (durée de vie de 4 ans) ;
- « **locaux** » : ondulation et climatisation des locaux techniques (durée de vie de 5 ans) ;
- « **fonct.** » : maintenance annuelle des éléments actifs, ou fonctionnement sur lot de matériel supplémentaire, et autres coûts de fonctionnement annuels ;
- « **RH** » : ressources humaines correspondantes ;
- « **TOTAL** » : total des lignes précédentes ;
- « **util. pot.** » : nombre d'utilisateurs potentiels du réseau sur un ou plusieurs campus de la ville, si possible la totalité ;
- « **T/up** » : coût annuel par utilisateur potentiel.

€/ an	A	B	C	D	E	F
FO	23 260	0	126 667	149 322	231 227	9 333
actif	10 600	0	70 000	66 724	200 928	100 000
locaux	8 000	0	2 000	26 000	20 000	22 000
métro.	0	0	120 000	0	0	282 000
liaisons	0	140 000	0	30 000	12 000	110 000
fonct.	7 100	0	245 986	135 000	309 884	35 000
RH	53 926	21 815	84 014	196 813	364 841	126 819
<b>TOTAL</b>	<b>102 886</b>	<b>161 815</b>	<b>648 667</b>	<b>603 859</b>	<b>1138880</b>	<b>685 152</b>
util. pot.	32 000	23 000	48 000	53 000	50 000	65 000
<b>T/up</b>	<b>3,22</b>	<b>7,04</b>	<b>13,51</b>	<b>11,39</b>	<b>22,78</b>	<b>10,54</b>

Tableau 6 – Coûts « réseau métropolitain »

Signification des différentes lignes :

- « **FO** » : génie civil et fibres optiques (durée de vie de 15 ans) ;
- « **actif** » : coût des éléments actifs du cœur du réseau métropolitain (durée de vie de 4 ans) ;
- « **locaux** » : ondulation et climatisation des locaux techniques (durée de vie de 5 ans) ;
- « **métro** » : participation annuelle au réseau métropolitain ;
- « **liaisons** » : éventuellement liaisons opérateur pour les sites non connectés à une infrastructure fibre privative ;
- « **fonct.** » : autres coûts de fonctionnement annuels (en particulier maintenance et logistique du service) ;
- « **RH** » : ressources humaines correspondantes ;
- « **TOTAL** » : total des lignes précédentes ;
- « **util. pot.** » : nombre d'utilisateurs potentiels du réseau ;
- « **T/up** » : coût annuel par utilisateur potentiel.

€/ an	A	B	C	D	E	F
exploit.	750	5 650	750	3 750	0	750
DNS	1 500	1 000	750	3 313	4 500	1 250
métrol.	750	1 000	750	10 175	2 500	1 250
messag.	3 000	4 000	5 125	13 250	12 500	6 500
FW	18 750	0	0	33 000	0	0
VPN	0	0	1 625	31 842	10 000	0
authent.	2 500	1 000	1 125	1 750	3 125	3 250
RH	185 692	98 407	47 629	149 184	142 887	200 144
<b>TOTAL</b>	<b>212 942</b>	<b>111 057</b>	<b>57 754</b>	<b>245 904</b>	<b>175 512</b>	<b>213 144</b>
util. pot.	32 000	23 000	10 000	53 000	50 000	65 000
<b>T/up</b>	<b>6,65</b>	<b>4,83</b>	<b>5,78</b>	<b>4,64</b>	<b>3,51</b>	<b>3,28</b>

Tableau 7 – Coûts macroscopiques « services »

Signification des différentes lignes :

- « **exploit.** » à « **authent.** » : matériels, logiciels et maintenance des machines nécessaires pour assurer les différents services ;
- « **messag.** » ne concerne que le relais de messagerie, y compris antivirus et antispam centralisés, mais hors hébergement des boîtes aux lettres ;
- « **authent.** » concerne l'authentification des accès au réseau ;
- « **RH** » : ressources humaines correspondantes ;
- « **util. pot.** » : nombre d'utilisateurs potentiels du réseau<sup>7</sup> ;
- « **T/up** » : coût annuel par utilisateur potentiel.

€/an/up	A	B	C	D	E	F
campus	6,68	6,35	9,11	7,71	0	0
métrop.	3,22	7,04	13,51	11,39	22,78	10,54
services	6,65	4,83	5,78	4,64	3,51	3,28
<b>TOTAL</b>	<b>16,55</b>	<b>18,22</b>	<b>28,40</b>	<b>23,74</b>	<b>26,29</b>	<b>13,92</b>

Tableau 8 – *Bilan réseaux de campus et métropolitain*

Ce tableau montre un coût par utilisateur n'allant que du simple au double, alors que les trois tableaux précédents indiquent de très grandes disparités pour chaque ligne.

Avec toutes les réserves d'usage, l'on peut donc retenir cet ordre de grandeur :

*Coût moyen campus+métro :  
21 €/an/utilisateur potentiel*

## 4.2 Effets de la mutualisation et de la fiabilisation

Nous pouvons donner des éléments d'explication pour les différences observées dans les tableaux 5, 6 et 7 :

- Pour les villes E et F, l'absence de la couche « réseau de campus » est évidemment compensée par le coût de la couche « réseau métropolitain ».
- Le faible coût de la ligne « FO » pour la ville A, dû à la mutualisation de l'opération avec la Ville et à un appel d'offres très favorable, est la principale cause du faible coût global constaté sur cette ville.
- Pour la ville F, le faible coût de la ligne « FO » est dû à la richesse de l'offre sur cette ville.
- Les différences observées sur la somme des deux lignes « actif » des tableaux 5 et 6 entre AB et DE traduisent une différence dans les puissances des équipements actifs installés et surtout dans la redondance ou non des

matériels, redondance destinée à la fiabilisation du réseau.

- Pour la ville B, le fait d'avoir des liaisons opérateur et non une infrastructure en fibre optique privative n'entraîne pas de surcoût, mais une moins grande performance du réseau : les débits sont de l'ordre du Mbit/s et non du Gbit/s.
- Le coût élevé de la ligne « fonct. » pour les villes D et E est dû à un service de maintenance de haut niveau pour le cœur du réseau.
- Pour les services, les situations sont très dispersées vu les différences de services offerts. Pour la ligne « messag. », les coûts les plus élevés sont dus à la sécurisation et la redondance des serveurs utilisés.
- Pour la ville A, le coût global élevé des services est dû essentiellement à ligne « RH » car, à la différence des couches réseau, les services sont peu mutualisés entre les différents établissements. Le même calcul refait uniquement sur le plus gros établissement donne un coût de service bien inférieur.
- Pour la ville F, le faible coût des services est dû à un effet de seuil, le nombre d'utilisateurs potentiels étant très important, et au moindre nombre de services offerts par rapport à d'autres villes.

On retrouve dans ces chiffres la confirmation de deux éléments intuitifs :

- La mutualisation des ressources entre établissements permet une diminution globale des coûts à service constant.
- La fiabilisation des services, à travers en particulier la redondance des liens et des équipements, représente un coût important.

Le dernier point que l'on peut constater est que la mutualisation permet de faciliter la fiabilisation et d'offrir des services qui ne pourraient pas être créés par chaque établissement, d'où le paradoxe que les villes les plus mutualisées ont des totaux relativement élevés dans le tableau 8, mais avec de meilleurs services.

## 4.3 Réseau régional

Les coûts des réseaux régionaux<sup>8</sup>, généralement financés par les collectivités territoriales, sont connus. Toutefois, dans le cas de réseaux multi-communautés (enseignement supérieur, recherche, lycées, collèges, hôpitaux, mairies), nous avons réalisé une estimation pour ne prendre en compte que la partie qui concerne notre étude.

Quelques cas sont présentés dans le tableau 9 suivant avec des coûts annuels constatés ou estimés (généralement des coûts opérateurs, liaisons et services), le nombre

<sup>7</sup> Pour la ville C, le nombre d'utilisateurs pris en compte n'est pas le même dans les différents tableaux. Les éléments donnés concernent un seul établissement pour la couche « réseau de campus » et les « services » et tous les établissements de la ville pour la couche « réseau métropolitain ». Pour d'autres villes, le nombre d'utilisateurs varie pour chaque service. Nous avons donc effectué des règles de trois et extrapolé à l'ensemble des utilisateurs de la ville le coût d'un service lorsqu'il ne concernait qu'une partie de ces utilisateurs.

<sup>8</sup> Pour ce qui est de l'Ile-de-France, il vaut mieux considérer comme une région chacune des sous-régions correspondant aux différents nœuds de Renater en Ile-de-France, les coûts de liaison entre ces différents nœuds étant intégrés dans la « couche Renater ».

d'utilisateurs potentiels concernés (enseignement supérieur, recherche), le ratio coût annuel par utilisateur potentiel et une indication des débits disponibles sur ces réseaux :

	Coût/an	Util. Pot.	C/up/an	Débits
Z	3 500 000	100 000	35,00	2 à 40 M
Y	837 000	77 000	10,87	2 M à 1 G
X	231 145	58 000	3,99	2 M à 1 G
W	81 519	32 000	2,55	10 à 50 M
V	930 000	125 000	7,44	2 à 150 M
U	2 000 000	250 000	8,00	2 M à 1 G
T	6 000 000	120 000	50,00	10 M à 1G

Tableau 9 : *Coûts macroscopiques « réseau régional »*

Comme on le voit, la fourchette est très large et le coût n'a rien à voir avec les niveaux de débit proposés.

Avons-nous des explications aux coûts très élevés des cas Z et T? Plusieurs pistes sont envisageables et, dans ces deux cas, elles sont sans doute cumulées :

- Les appels d'offre sont anciens, d'où des technologies (ATM) actuellement obsolètes et coûteuses.
- Ils ont eu lieu dans une situation de faible concurrence.
- Ces régions sont géographiquement étendues et complexes.
- Leurs coûts intègrent des éléments relevant pour notre étude de la couche « réseau métropolitain » (voir partie 2.2).

Le cas W, le moins cher, est le résultat d'un appel d'offres récent sur une zone géographique limitée, pas trop éloignée du nœud Renater et pour des débits limités.

Si nous isolons ces cas de figure, qui ne nous semblent pas correspondre à des cas généralisables aujourd'hui, il reste encore une fourchette large de **3 à 11 €/par an et par utilisateur potentiel** et un **coût moyen de 7,50€/an/up**.

En analysant plus en détail, nous nous apercevons que l'éloignement et le faible nombre d'utilisateurs constituent des facteurs importants d'augmentation des coûts :

- Pour la ville qui abrite le nœud Renater et qui comprend le plus grand nombre d'utilisateurs, le coût peut être considéré comme nul si le réseau métropolitain de cette ville est directement raccordé à Renater.
- Pour les autres villes importantes, nous aurons des coûts qui se situeront dans le haut de la fourchette précédente.
- Mais, pour les villes moins importantes, abritant seulement des antennes universitaires, des départements d'IUT ou de petits centres de recherche, les coûts peuvent devenir très importants.

Le tableau 10 suivant reprend les données du tableau 9 (sauf pour les cas Z et T, leur type d'allotissement ne le permettant pas), mais en éclatant chaque ligne en deux :

coût pour les principales villes concernées et coût pour les antennes.

	Coût	Util. Pot.	C/up/an	Débits
Y	450 000	75 000	6,00	10 M à 1G
	387 000	2 000	193,50	2 M
X	158 189	57 000	2,78	1 G
	72 956	1 000	72,96	2 M
W	43 056	31 450	1,37	50 M
	38 463	550	69,93	10 M
V	670 000	117 000	5,73	10 à 150 M
	260 000	8 000	32,50	2 à 10 M
U	1 800 000	245 000	7,35	1 G
	200 000	5 000	40,00	2 à 100 M

Tableau 10 : *Effet de la dispersion géographique*

En éliminant le cas W, on voit que la fourchette est de 2 à 8 € pour les villes principales. Le coût moyen d'un réseau régional que l'on pouvait estimer d'après le tableau 9 à 7,50 € est ramené à 5,50 €

Le coût du réseau régional est donc aussi lié à des choix politiques quant à la carte de l'enseignement supérieur et de la recherche en France.

D'autres données se trouvent dans le rapport de l'ART déjà évoqué, réalisé en mai 2004 par le cabinet Venice consulting et intitulé « Etude sur les réseaux régionaux »<sup>9</sup>. Le coût annuel global de l'ensemble des réseaux y est chiffré à 67 M€ par an, sachant que, dans un certain nombre de régions, le périmètre des réseaux régionaux déborde de l'enseignement supérieur et de la recherche, en particulier vers les lycées et les hôpitaux.

Ramené au nombre d'utilisateurs potentiels dans les établissements d'enseignement supérieur et de recherche en France (2 500 000 personnes), le coût moyen par an et par utilisateur des réseaux régionaux serait donc de 27 € à diminuer de la part d'extension de périmètre signalée.

Même avec cette diminution difficile à préciser, ce coût nous paraît élevé. Il nous semble donc correspondre à des appels d'offres relativement anciens et intégrant des coûts métropolitains, comme dans les cas Z et T cités.

Dans tous les cas, on voit qu'une étude complémentaire précise de ces coûts régionaux est nécessaire si l'on veut bien connaître les coûts que l'on doit attendre dans les appels d'offres qui vont être lancés et se prémunir de coûts qui seraient anormaux.

<sup>9</sup> [www.art-telecom.fr/publications/etudes/rreg/etude-regions-nov04.pdf](http://www.art-telecom.fr/publications/etudes/rreg/etude-regions-nov04.pdf)



## 4.4 Renater

Le réseau Renater interconnecte les plaques régionales et métropolitaines et fournit la connectivité internationale. Renater est un GIP employant une trentaine de personnes. Son budget global consolidé est de 26 M€ par an, comprenant :

- les différentes liaisons nationales (y compris l’outre-mer) et internationales (Geant et l’Internet global) ;
- les services fournis (IPv4, IPv6, multicast, VPN...);
- la gestion du Sfinx (points d’échange Internet) ;
- le fonctionnement du GIP et les salaires.

Il faut ajouter à ce chiffre la part correspondant à la France de la contribution de l’Union Européenne à Geant, soit environ 1 M€ par an.

Renater est le réseau de la communauté enseignement supérieur et recherche. Le coût rapporté aux 2 500 000 utilisateurs potentiels de cette communauté est de **10,80 € par an**.

Renater est également utilisé par l’enseignement scolaire, mais de façon très hétérogène suivant les régions. En les intégrant, le coût par utilisateur serait réduit, mais nous ne disposons pas de chiffres suffisamment fiables pour permettre cet exercice.

## 4.5 Bilan : coût par utilisateur potentiel

Le bilan des différents coûts macroscopiques étudiés, du réseau de campus à Internet, et rapportés avec toutes les précautions indiquées à l’« utilisateur potentiel », est résumé dans le tableau 11 ci-dessous :

Couches	fourchette	Moyenne
campus+métropolitain	de 13 à 29 €	21 €
réseau régional	de 3 à 11 €	7,50 €
Renater	10,80 €	10,80 €
<b>TOTAL</b>	<b>de 26 à 51 €</b>	<b>39,30 €</b>

Tableau 11 – *Bilan par utilisateur potentiel*

## 4.6 Quelques coûts unitaires

Nous avons fait toute cette partie d’étude sur la base de « coûts macroscopiques ». Pourrait-on la faire sur la base de coûts unitaires ? Globalement, c’est quasi impossible pour les raisons exposées dans la partie 2.3.

Toutefois, pour un certain nombre d’éléments, nous pouvons donner quelques coûts qui peuvent servir à chiffrer tout ou partie de certains projets.

Ces éléments vont concerner les liaisons. Par contre, nous n’aurons rien concernant les éléments actifs ou les services qui sont sujets à trop de variations dès l’expression des besoins.

Pour le coût de tirage d’une fibre optique (génie civil, tirage de câble, connexion), les chiffres donnés pour la couche « bâtiment » s’appliquent tout autant dans les autres couches.

D’autre part, aux niveaux métropolitain, départemental voire régional, les universités commencent à disposer de possibilités de location de fibre optique, en particulier à travers les délégations de service public (DSP) que mettent en place certains conseils généraux ou régionaux.

Dans d’autres sites, il existe une possibilité comparable de location ou d’« IRU »<sup>10</sup> auprès d’opérateurs.

Les cas connus donnent un chiffrage autour de **2 €/ml/an** (coût par paire) pour des cas métropolitains ou départementaux. Au niveau national entre métropoles, le chiffrage tombe à **1 €/ml/an**.

Il est intéressant de connaître aussi les tarifs opérateur actuels pour des liaisons de type gigabit en ville ou entre villes proches, sachant que ces tarifs varient fortement entre les différents points du territoire.

Les cas connus tournent autour de **75 000 €/an** en ville quelle que soit la distance et de **100 000 €/an** en région pour une liaison de 100 km (hors frais d’installation).

Nous pouvons faire un calcul pour une région qui aurait 4 villes universitaires, chacune des 3 villes secondaires étant distantes de 100 km de la ville principale où se trouve un nœud Renater, pour un total de 100 000 utilisateurs potentiels.

Si, sur chacune de ces villes, un réseau métropolitain a été constitué, le réseau régional peut se réduire à 3 liaisons gigabit entre villes secondaires et ville principale reliant chacun des réseaux métropolitains à une interface du nœud Renater.

Avec des liens opérateur, cela peut être chiffré à 300 000 €/an, soit 3 €/par an et par utilisateur.

En louant de la fibre, cela donnerait 600 000 €/an (300 km à 2 €/ml/an), soit 6 €/par an et par utilisateur, c’est-à-dire deux fois plus cher, mais avec une meilleure évolutivité.

Dans les deux cas, nous retrouvons les chiffres de nos fourchettes de « coûts macroscopiques », mais dans un scénario qui a réduit au minimum le coût du service de la couche « réseau régional » (on a reporté en fait les services réseau soit vers la couche « réseau métropolitain », soit vers la couche « Renater ») et qui n’a pas pris en compte d’antennes dans des villes moins importantes.

<sup>10</sup> « Indefeasable Right of Use » : acquisition du droit d’usage pour une durée déterminée sans transfert de propriété.

## 5 Coûts globaux

### 5.1 Cas-type 1

Les chiffres qui suivent constituent de bons ordres de grandeur et des points de départ pour vos propres réflexions. Les paramètres utilisés sont : 50 000 utilisateurs potentiels, 20 000 prises activées, 200 bornes wifi.

Le bilan du réseau filaire de la couche « bâtiment » donne des coûts de :

$$20\,000 \times 71 = 1\,420\,000 \text{ €/an}$$

$$1\,420\,000 / 50\,000 = 28,40 \text{ €/an/up}$$

Le coût du réseau sans fil est de  $200 \times 286 = 57\,200 \text{ €/an}$  (cas I du tableau 4), soit  $1,10 \text{ €/an/up}$ .

En ajoutant les coûts moyens macroscopiques, on obtient le coût global de :

$$28,40 + 1,10 + 21 + 7,50 + 10,80 = 68,80 \text{ €/an/up}$$

	€/an/up	%
bâtiment filaire	28,40	41
sans fil	1,10	2
campus+métro	21,00	30
Régional	7,50	11
Renater	10,80	16
<b>TOTAL</b>	<b>68,80</b>	<b>100</b>

Tableau 12 – Coûts globaux : cas-type 1

### 5.2 Cas-type 2

C'est la ville A de la partie 4.1 avec quelques éléments complémentaires permettant d'évaluer différemment les coûts en fonction de deux catégories d'utilisateurs.

Les 32 000 utilisateurs de cette ville se décomposent en 29 000 étudiants et 3000 personnels. Il y a 7500 prises activées sur le réseau métropolitain, 4 100 à disposition des étudiants (7,07 étudiants par poste de travail) et 3 400 pour le personnel (0,88 personnel par poste de travail).

Le bilan de la couche bâtiment donne des coûts de :

$$7\,500 \times 71 = 532\,500 \text{ €/an}$$

$$532\,500 / 32\,000 = 16,64 \text{ €/an/up}$$

En ajoutant les coûts campus et métropolitain de la ville A, le coût moyen régional et le coût Renater, on obtient les coûts globaux de :

$$16,64 + 16,55 + 7,50 + 10,80 = 51,49 \text{ €/an/up}$$

$$51,49 \times 32\,000 = 1\,647\,680 \text{ €/an}$$

Voyons maintenant les coûts globaux par poste de travail, puis par étudiant et par personnel :

$$1\,647\,680 / 7\,500 = 219,69 \text{ €/an/prise activée}$$

$$219,69 / 7,07 = 31,07 \text{ €/an/étudiant}$$

$$219,69 / 0,88 = 249,65 \text{ €/an/personnel}$$

€/ an	/étudiant	/personnel	/up
Bâtiment	10,04	80,68	16,64
campus+métro	9,99	80,24	16,55
Régional	4,52	36,37	7,50
Renater	6,52	52,36	10,80
<b>TOTAL</b>	<b>31,07</b>	<b>249,65</b>	<b>51,49</b>

Tableau 13 – Coûts globaux : cas-type 2

## 6 Conclusion

Les situations analysées par le groupe de travail sont suffisamment variées pour couvrir l'ensemble du paysage des réseaux universitaires. Grâce à cette diversité, nous pensons avoir atteint notre objectif d'identification et d'évaluation des différentes rubriques de coût réseau, ceci via une démarche qui a permis de définir un référentiel cohérent.

Nous n'avons pas trouvé une formule mathématique applicable telle quelle à tous les contextes d'établissement. Mais nous avons présenté quelques études de cas aisément transposables à votre propre contexte. Ainsi ces cas-types montrent que les coûts globaux et les différentes rubriques de coût vont varier en fonction de choix stratégiques souvent locaux :

- équipement plus ou moins important en postes fixes, en particulier pour les étudiants ;
- couverture du réseau sans fil ;
- niveaux de mutualisation de l'infrastructure et des services et de fiabilisation des réseaux de campus et métropolitain ;
- définition du périmètre du réseau régional.

Nous avons constaté que la mutualisation permet soit des économies à service constant, soit une amélioration des services à coût constant. De plus, elle conduit à une architecture technique plus rationnelle, plus fiable et plus facilement maîtrisable.

Cet premier travail laisse un certain nombre de questions ouvertes :

- Quelle est l'influence du profil des utilisateurs sur les coûts ?
- L'architecture pyramidale actuelle (campus-métropolitain-régional-Renater) entraîne-t-elle des surcoûts par rapport à d'autres architectures possibles diminuant le nombre de couches ?
- Quel sera le coût de l'exploitation et la durée de vie des réseaux sans fil sur lesquels le recul est aujourd'hui insuffisant ?

Ces questions pourront faire l'objet d'autres études.