

**Consultation publique de l'Autorité de Régulation
des Communications électroniques et des Postes sur un modèle
réglementaire de coûts des réseaux de collecte des accès haut débit
du 30 janvier 2007**

Réponse de France Télécom

France Télécom se réjouit de cette consultation qui porte sur l'ensemble des modèles de coût du haut débit développés par l'ARCEP et qui devrait être l'occasion d'une mise en cohérence de ces modèles avec l'économie réelle des opérateurs présents sur le marché du haut débit. L'essentiel de ces acteurs étant maintenant coté en bourse, les informations disponibles publiquement devraient conduire l'ARCEP à prendre dorénavant en compte les coûts effectivement supportés par les opérateurs ainsi que les critères de choix qu'ils retiennent aussi bien en matière de déploiement qu'en matière tarifaire. Ceci devrait mettre un terme à la profonde divergence existant entre les résultats des modèles développés par l'ARCEP à des fins de régulation, et les annonces publiques des opérateurs notamment à l'égard de la communauté financière.

France Télécom se félicite également de l'élargissement du périmètre des modèles aux réseaux de collecte, ce qui devrait en particulier conduire à prendre en compte les économies d'envergure entre les différentes composantes de coût du service haut débit et à éclairer l'ARCEP sur les décisions de déploiement des opérateurs qui, au vu des modèles existants, auraient pu lui apparaître irrationnelles.

France Télécom tient cependant à souligner le fait que le projet de maquette d'un réseau de collecte tel qu'il est soumis à consultation comporte des anomalies rédhibitoires et qu'un examen approfondi par des experts conduit au constat que **le réseau dont la modélisation est soumise à consultation par l'ARCEP ne permettrait pas en l'état d'acheminer des communications électroniques** et ceci sans même prendre en compte des contraintes en matière de qualité de service.

S'agissant d'un sujet essentiel pour l'avenir du secteur, France Télécom souhaite donc que l'ARCEP examine avec attention les contributions des différents acteurs et, en particulier, que la base du modèle soit profondément révisée afin d'aboutir à une nouvelle version qui

devrait être soumise de nouveau à consultation. Ainsi, France Télécom considère que cette modélisation ne peut servir de référence à court terme, sans une nouvelle consultation sur un modèle révisé, à des décisions de régulation du secteur.

La présente contribution de France Télécom porte sur le modèle de collecte¹.

En préambule, il faut noter que la modélisation porte sur un réseau de collecte desservant exclusivement le marché résidentiel et pour la seule fourniture d'un service haut débit. Cette description ne correspond pas aux usages actuels des réseaux de collecte qui mutualisent des trafics d'origine diverse. Dans l'hypothèse où une telle modélisation devait être utilisée dans les conditions décrites par l'ARCEP, à savoir à des fins de régulation sectorielle ou d'analyse concurrentielle, il apparaît nécessaire de prendre en compte la réalité des usages des réseaux de collecte dans une version ultérieure du modèle, ainsi que le poids des coûts affectables au haut débit. En tout état de cause, ce modèle ne peut en l'état servir dans une approche de modélisation type « bottom-up » du réseau de France Télécom.

La détermination de la part des coûts qui doit être affectée au haut débit fait, par ailleurs, l'objet d'un groupe de travail sur l'allocation des coûts joints de collecte sous la présidence de Dominique Bureau. Ce groupe de travail a vocation à se prononcer sur les méthodes d'allocation des coûts joints de collecte retenues dans les différents modèles et France Télécom propose qu'elles lui soient soumises lors d'une prochaine session lorsque les modèles auront été consolidés.

S'agissant de la modélisation proprement dite, une expertise, dont le résultat est joint à la contribution de France Télécom, a été conduite sur le modèle de tracé de réseau qui constitue le fondement même de la modélisation proposée.

Il ressort de l'analyse approfondie qui a été menée que cette modélisation souffre de défauts structurels qui la rendent en l'état inexploitable :

- Une absence de pertinence quant au choix par l'opérateur efficace de son réseau : un tel opérateur cherche à minimiser le coût de son réseau, et non à minimiser sa longueur, tous les kilomètres n'ayant pas pour lui le même coût ;

¹ L'ARCEP a autorisé les opérateurs à différer leur réponse sur les autres modèles au 23 mars 2007. France Télécom fera part de son analyse des modèles de l'accès dégroupé et des coûts de FAI ainsi que des paramètres communs aux différents modèles (hypothèses de marché et hypothèses économiques notamment) dans sa prochaine contribution.

- Un manque de rationalité ; le modèle soumis à consultation décrivant **des réseaux de collecte qui en l'état ne fonctionnent pas**, même en l'absence de pannes. C'est sans doute le point essentiel ;
- Un manque de cohérence par rapport aux coûts réellement supportés : le modèle définit une dynamique de déploiement de réseau tout en calculant des tracés d'infrastructure réputés être optimaux en mode statique, sans tenir compte des coûts de migrations d'une phase à l'autre, et sur lesquels sont déployés des équipements dont les durées de vie ne tiennent pas compte de l'évolution du réseau.

Dans ce contexte, les chiffrages qui pourraient être réalisés ne sont pas significatifs et la réponse à certains points de la consultation, comme l'analyse des coûts des équipements est rendue impossible dans la mesure où il est difficile de déterminer le rôle véritable des équipements dans le réseau.

Etude réalisée sur le modèle de collecte des accès haut débit mis en consultation par l'ARCEP

Avertissement :

La présente étude porte sur le calcul des tracés de réseaux de collecte issus du modèle soumis à consultation. Néanmoins cette étude se référera également à la modélisation des équipements de réseau, car le choix retenu d'une décomposition de la modélisation en parties indépendantes, en particulier entre tracé et déploiement des équipements, constitue une source d'erreur majeure.

Outre, l'absence de caractère dynamique dans le chiffrage des coûts de réseau, deux points majeurs doivent être soulignés :

1. Le modèle suppose à tort que tous les kilomètres ont le même coût pour l'opérateur

Le modèle de réseau de collecte retient que tous les kilomètres d'infrastructure coûtent à l'opérateur modélisé un même coût de 2 Euros / mètre / an, valeur réputée cohérente avec celle d'une paire de fibre vendue sous forme d'IRU.

Or pour un opérateur, tous les kilomètres de paires de fibre ne se ressemblent pas : les fibres peuvent être situées sur des axes où l'offre est pléthorique et les prix très faibles, ou sur des axes pour lesquels il n'existe pas de marché et où toute la demande passe sur une seule paire de fibre construite sur une infrastructure dédiée qui parfois doit être réalisée en conduite. Le coût du km pour l'opérateur variera dans un rapport dépassant 1 à 10.

De ce fait l'opérateur choisira le tracé de son réseau en fonction des prix au km rencontrés autant sinon plus qu'en fonction du kilométrage induits.

La logique de plus court chemin retenue et appliquée de façon plus ou moins heuristique dans le modèle, n'est donc pas pertinente pour déterminer les tracés du réseau d'un opérateur réel.

2. Le modèle définit un réseau de collecte qui ne marche pas, même en l'absence de panne

Le modèle soumis à consultation retient trois hypothèses qui cumulées conduisent à des réseaux qui ne fonctionnent pas :

- le tracé du modèle et la valorisation du coût de l'infrastructure supposent qu'il n'existe qu'une paire de fibre entre deux nœuds du réseau.
- les tracés sont structurés par un algorithme d'arbre de longueur minimale sans contrainte de longueur d'artères. Les artères de collecte comprennent donc un grand nombre de nœuds en série, dont les trafics sont réputés se cumuler jusqu'à la racine de l'arbre de collecte.
- la liste des matériels retenue pour la modélisation des coûts d'équipement du réseau de collecte GbE ne contient aucun équipement de transmission capable d'opérer un multiplexage en transmission de plusieurs conduits sur une même fibre.

La modélisation suppose donc que l'on peut cumuler en série sur une seule fibre les trafics issus d'un grand nombre de nœuds, et ce sans disposer de la capacité de multiplexage en transmission : l'analyse des possibilités actuelles des équipements retenus dans la modélisation proposée (fonctionnalités, entrées-sorties, débit, portée) démontre que ces équipements ne peuvent supporter les cumuls de trafic prévus par le modèle de collecte proposé, et qu'un réseau conforme à ce modèle ne collecterait pas le trafic.

De plus, dans le cas de la collecte mixte IP-ATM, le modèle ne prévoit aucune possibilité de multiplexage en transmission sur une même fibre entre collecte GbE et collecte SDH. Dès lors, les fibres utilisées pour l'une des collectes ne peuvent plus être utilisées pour l'autre : les deux collectes ne peuvent pas être connexes simultanément.

Les éléments permettant de valider le fait que le réseau modélisé ne « fonctionne pas » sont détaillés ci-dessous.

Le modèle de collecte soumis à consultation : un réseau qui ne fonctionne pas

1 Hypothèse du modèle de réseau de collecte

Le modèle comprend 2 options, nous avons d'une part un modèle de réseau de collecte de purs trafics IP issus des NRAs dégroupés par l'opérateur considéré et d'autre part un modèle de réseau mixte IP-ADSL qui peut collecter les trafics IP issus des NRAs dégroupés mais aussi offrir une collecte des trafics bitstream issus des clients connectés sur les NRAs non dégroupés à partir des nœuds SRHD. Les nœuds SRHD sont les points de livraisons de la collecte des trafics DSL pour les NRAs non dégroupés.

Pour l'option de pure collecte IP le modèle considère les 5 composantes suivantes pour la fonction de coût

- le coût du support fibre du réseau,
- le coût des équipements IP,
- le coût de pénétration dans les locaux France Télécom,
- le coût d'aménagement des POPs,
- les coûts propres de l'opérateurs : coûts d'ingénierie et coûts communs.

Pour l'autre option de réseau de collecte mixte IP-ATM, le modèle considère une composante supplémentaire : le coût des équipements de transmission SDH-ATM.

Les seules unités d'œuvre participant de la construction technique du réseau sont pour le réseau de la première option : le coût du support fibre du réseau et le coût des équipements IP. Pour la seconde option nous avons en plus le coût des équipements de transmission SDH-ATM.

Signalons ici que la composante "coût du support fibre" représente la majeure partie ($\sim 70\% \pm 5\%$) du coût total des réseaux calculés par le modèle pour les 2 options de réseaux et les 5 stades de déploiement.

Pour calculer la première composante, le coût du support fibre du réseau, le modèle utilise la longueur "à vol d'oiseau" du réseau calculée en fonction de l'option de réseau de collecte considérée par l'outil de modélisation du tracé proposé par l'Arcep. Le modèle corrige cette longueur "à vol d'oiseau" par un facteur multiplicateur de 1,5 pour prendre en compte les obstacles et les détours rencontrés sur le terrain par rapport à la distance "à vol d'oiseau". Notons que ce chiffre de 1,5 et le fait qu'il s'applique uniformément sur tous les segments est une hypothèse forte dont il est difficile d'apprécier le réalisme. A cette longueur de réseau initiale le modèle ajoute une longueur de 3 km par POP que l'opérateur installe dans

Diagram illustrating the two-step process of POP formation from NRA:

a) Initial state: A central pink oval (POP) is surrounded by yellow circles (NRA). An arrow labeled "Vers Giga POP" points to the right.

b) Final state: The central pink oval (POP) is now surrounded by a different configuration of yellow circles (NRA). An arrow labeled "Vers Giga POP" points to the right.

Legend:

- POP (pink oval)
- NRA (yellow circle)

Elle comptabilise le coût des capacités de transmission nécessaires pour collecter le trafic bitstream dans les SRHD et le transporter vers le Giga POP de la région. A partir d'une hypothèse de part de marché et de trafic par abonné, le modèle calcule un nombre d'anneaux STM1 qu'il faut installer dans chaque région. Il compte un châssis SDH par POP "SRHD" pour gérer ces anneaux et un port SDH-ATM pour la connexion de ces STM1 au brasseur ATM dans le Giga POP régional. Le coût fixe du brasseur est pris en compte sous la forme d'un coût par port STM1.

Avec ces trois composantes on a fait le tour des coûts liaisons et équipements considérés pour les deux scénarios de réseau de collecte traités par le modèle. Cette liste d'unités d'œuvre réseau comptabilisées par le modèle paraît succincte. On remarque entre autres la complète absence d'unité d'œuvre de transmission et de multiplexage optique WDM.

A partir des seules unités d'œuvre inventoriées précédemment, on peut se demander s'il est possible de constituer un réseau de collecte qui fonctionne. La suite de l'analyse montrera que non.

2 Le réseau de collecte conçu sur la base du modèle soumis à consultation ne fonctionne pas

Pour construire un réseau de collecte entre les NRA dégroupés et le Giga POP régional, nous devons remonter les trafics issus des DSLAMs dégroupés jusqu'à un routeur dans un POP (partie basse du réseau de collecte). Ensuite il faut remonter l'ensemble des trafics concentrés par les routeurs jusqu'au Giga POP (partie haute du réseau de collecte).

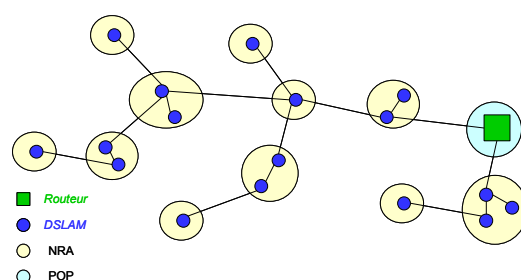
La seule possibilité technique pour construire le réseau de collecte consiste à utiliser des liaisons à 1 Gbit Ethernet (ou à 10Gbit). Chaque liaison Gbit Ethernet consomme une paire de fibres. Il faut en effet un signal optique bidirectionnel par support Gbit Ethernet et comme nous ne disposons pas dans le modèle d'une infrastructure sous-jacente de réseau WDM (nous avons vu plus haut que le modèle ne comptabilisait aucune unité d'œuvre de réseau de transmission WDM), nous n'avons pas la possibilité de multiplexer plusieurs longueurs d'onde sur une même fibre.

Nous avons vu plus haut que le modèle ne comptabilisait qu'une seule paire de fibres par artère du tracé du réseau. Nous en déduisons que le réseau de collecte doit être construit et fonctionner avec un seul conduit Gbit Ethernet par artère de son tracé. Pour répondre à cette contrainte, la seule possibilité est de relier en série à la suite les uns des autres les équipements IP rencontrés au fil du parcours sur l'arbre jusqu'à ce que l'on atteigne la

racine (le Giga POP). Les équipements IP en question sont les DSLAMs dans les NRA et les routeurs dans les POPs.

Une telle configuration de réseau n'est pas admissible dans l'état des technologies actuelles et prévisibles. Les lignes suivantes détaillent plusieurs causes, non nécessairement exhaustives, de non fonctionnement de la configuration modélisée.

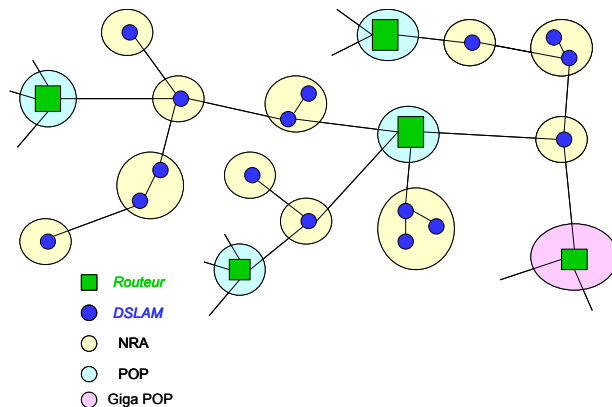
- i) Si l'on considère la partie amont du réseau de collecte entre les NRAs feuilles et le premier routeur de POP (cf. extrait de configuration dans la figure suivante), on trouve, du fait de l'utilisation d'un algorithme de poids minimum pour déterminer le réseau de desserte, des configurations avec un grand nombre de DSLAMs en cascade amont de ce routeur. Les configurations trouvées pour la région Rhône Alpes montrent que l'on peut aisément se trouver dans une telle situations avec une dizaine de DSLAMs dans une même cascade entre NRA feuilles et un premier routeur (voir cartes dans l'annexe).



Les équipements DSLAM existant aujourd'hui et prévus n'autorisent pas la constitution d'une telle cascade. Ceux-ci permettent tout au plus d'avoir 3 ou 4 DSLAMs chaînés : l'un en position de maître et les autres en position d'esclaves. Usuellement cette fonctionnalité permet de chaîner les DSLAMs situés dans un même NRA.

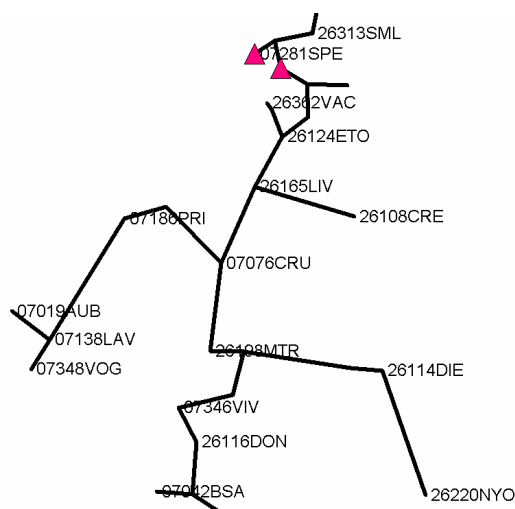
On peut se reporter à la carte A de l'Annexe pour constater que l'exemple illustratif présenté dans la figure ci-dessus n'est pas exceptionnel dans le modèle de l'Arcep.

- ii) Pour la partie aval du réseau de collecte entre le premier routeur et le Giga POP (cf. exemple dans figure suivante), on se retrouve dans une situation similaire sauf qu'il est aussi possible de rencontrer des routeurs dans la cascade en alternance avec les NRAs. Le problème signalé dans i) s'en trouve exacerbé. En effet non seulement nous trouvons un grand nombre de DSLAMs dans une même chaîne mais nous trouvons aussi des routeurs connectés sur des DSLAMs . On n'est plus du tout dans une situation d'un DSLAM maître qui pilote 2 ou 3 DSLAMs esclaves



Pour qu'une telle configuration fonctionne, il faudrait que les DSLAMs possèdent les mêmes fonctionnalités de routage que les routeurs, en plus de leur capacité à traiter des accès clients. Si cela était le cas on peut alors se demander quel serait l'intérêt d'avoir les deux types d'équipements dans la cascade. Les routeurs "purs" seraient superflus. De tels DSLAM-Routeurs universels n'existent pas à ce jour (On peut douter qu'ils existent un jour car l'évolution des équipements va vers une spécialisation de leurs fonctionnalités. En effet il est difficile et coûteux de concevoir une machine bonne à tout et la recherche d'efficacité conduit à spécialiser les équipements).

La figure suivante montre qu'une telle configuration de cascade de DSLAM et de routeurs imbriqués peut exister dans le réseau de la région Rhône Alpes.



- iii) Même si l'on supposait qu'il existait des équipements DSLAM-Routeurs efficaces pour construire une telle configuration de réseau, celles-ci ne seraient pas supportables d'un point de vue de ses performances. Tout d'abord construire de telles cascades de DSLAM conduit à concentrer sur un même lien Giga Ethernet les trafics des clients de tous les DSLAMs d'une cascade. Pour 20 DSLAMs chacun chargé avec chacun d'un millier de clients environ, on obtient des liens Giga Ethernet qui concentrent le trafic de plus de 20 000 clients ! Avec un trafic moyen par client de 50 kbits plus le transport d'une cinquantaine de canaux TV (4Mbit/canal), on dépasse la charge d'un lien Giga Ethernet (trafic total utile de 1.2 Gbit). Pour remédier à ce problème de charge il faut passer à des conduits à 10 Gbit. Pour le moment peu d'équipementiers prévoient ce type d'interface sur les DSLAMs et un tout cas leur utilisation occasionnerait des surcoûts importants sur ces DSLAMs et sur les routeurs (1 port 10 GE sur un routeur coûte aujourd'hui de l'ordre de 40 fois le prix d'un port 1 GE). Et même cette solution permettrait de repousser mais ne résoudrait pas complètement le problème de charge. En effet nous verrons plus loin qu'une seule cascade aboutissant au Giga POP peut concentrer jusqu'à 250 ou 300 DSLAMs selon le modèle de l'Arcep, ce qui augmente le problème de charge sur une liaison d'un ordre de grandeur.

En fait 20 DSLAMs pour une cascade est un chiffre particulièrement conservateur. Dans le réseau de collecte IP pure calculé pour la région Rhône Alpes dans son 5^{ème} stade de déploiement, le module de tracé calcule une solution avec entre 250 et 300 DSLAMs en amont du NRA 38067MIA.

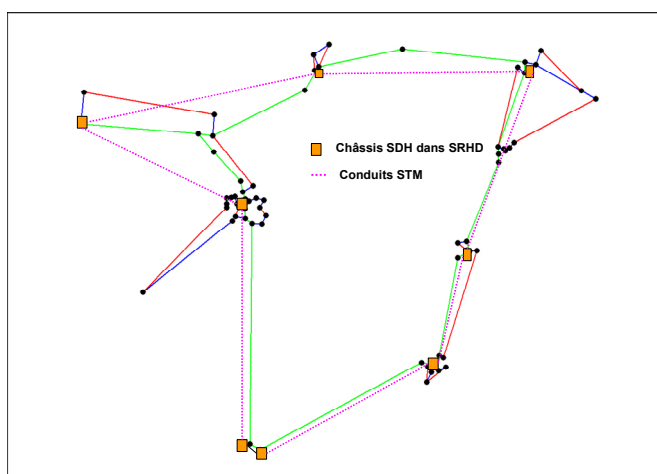
D'une manière générale on sait qu'il y a rarement plus de 3 liens connectés aux nœuds dans un arbre de poids minimal (aucun dans le cas de Rhône Alpes dans le stade 5). Pour la racine de l'arbre (près du POP) on a donc au moins 1/3 des nœuds sur une des branches (c'est plus de 75% des NRAs pour Rhône Alpes stade 5). Pour une région de taille moyenne (125 NRA), la branche la plus chargée au niveau du Giga POP concentre donc les trafics d'au moins 50 NRAs, soit entre 60 et 75 DSLAMs.

Il serait difficile d'offrir un service VOD avec un tel réseau, il faudrait prévoir beaucoup plus qu'une cinquantaine de canaux vidéo pour l'ensemble des clients VOD potentiels sur une même cascade de l'arbre.

Aussi grave que le problème de charge est celui de la fiabilité et de l'exploitation-maintenance d'un tel réseau. En dehors des pannes possibles d'équipements ou les coupures de liaisons, il faut aussi considérer les opérations de mise à jour de configurations logicielles dans les équipements qui nécessitent à chaque fois un redémarrage de ceux-ci. Une machine proche du Giga POP occasionnerait la coupure

des services pour plusieurs dizaines de milliers de clients. La qualité des offres de services aux clients serait déplorable.

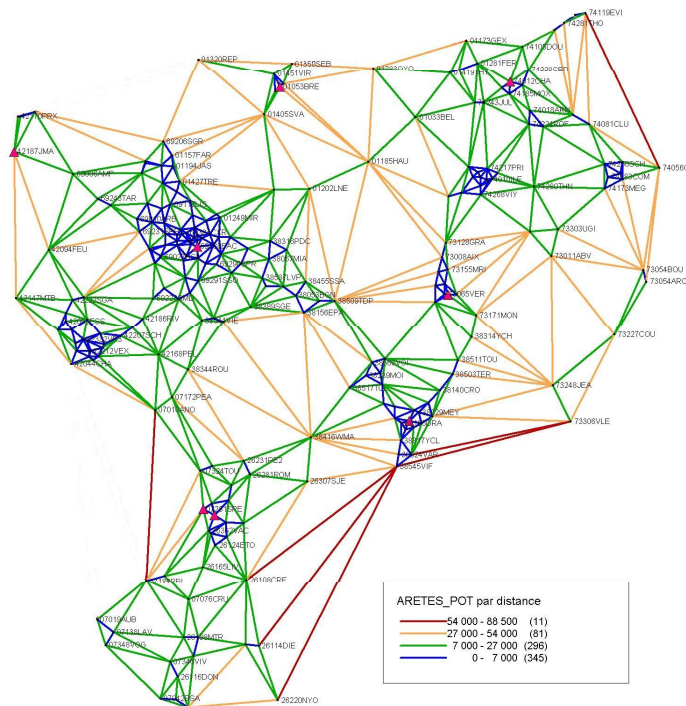
- iv) Dans l'option de réseau de collecte mixte IP-ATM, on doit aussi transporter les anneaux STM1 calculés par le modèle entre les nœuds SRHD. Pour le réseau Rhône Alpes au 1^{er} stade de développement le modèle trouve 43 anneaux STM1 et 21 pour le 5^{ème} stade. Ces anneaux doivent être transportés en plus des liens GE. Pour transporter une boucle STM1 on a besoin d'une paire de fibres. Au sens strict on appelle en effet STM1, le conduit optique transportant un conteneur VC4 SDH à 155 Mbit. Il faudrait donc en toute rigueur autant de paires de fibres sur le réseau dorsal que de STM1. En fait on peut supposer que le terme STM1 est utilisé dans la documentation du modèle, par abus de langage, à la place du concept de conteneur VC4 SDH et qu'en fait nous pouvons utiliser des conduits de transmission STM4, STM16 et STM64 pour transporter ces conteneurs. Comme pour les conduits STM1 chacun de ces types de conduits utilise une paire de fibres. Pour le scénario Rhône Alpes 1^{er} stade, pour transporter les 43 conteneurs VC4 à 155 Mbit, on a besoin d'un conduit STM64 ou de 3 conduits STM16 : par conséquent autant de paire de fibres sont nécessaires sur l'anneau d'interconnexion des nœuds SRHD (1 paire si utilisation d'un STM64 ou 3 si utilisation de STM16). La figure ci-dessous montre la topologie du réseau calculé par le module de tracé (le réseau dorsal est en vert, la desserte en bleu et le bouclage en rouge). Nous avons reporté les nœuds SRHD et les conduits constitutifs de l'anneau STM construit. Nous avons donc besoin d'au moins une paire de fibres (utilisation d'un anneau STM64) sur l'ensemble des arêtes du réseau dorsal sécurisé pour transporter les 43 conteneurs VC4 nécessaires mais nous n'en disposons d'aucune ! La seule paire prévue par le modèle est déjà utilisée pour la collecte pure IP et ne peut donc être aussi utilisée pour construire l'anneau STM64 .



- v) Une autre caractéristique du modèle conduisant à ce qu'il conduise à des solutions qui ne fonctionnent pas, est la non prise en compte des contraintes de portées maximales des équipements de transmission optiques GE et SDH et notamment des versions de ces équipements normalisées par les instances internationales (ITU ou autre).

Les briques des tracés ne prennent pas en compte de limite sur la longueur des artères potentielles. Donc rien n'interdit, dans les tracés de réseau, l'apparition d'artères particulièrement longues. C'est notamment le cas dans l'utilisation de la brique bouclage. Par exemple l'application de celle ci pour calculer le tracé du réseau mixte Rhône Alpes du 5^{ème} stade fait apparaître une liaison d'environ 80 km à "vol d'oiseau" entre les NRA 26220NYO et 38545VIF (cf. carte B dans l'annexe). Les équipements de transmission optiques comme les conduits GE sur fibre nue ont tous des portées limitées : de quelques centaines de mètres jusqu'à 10, 40 ou 70 km. Bien entendu le coût des équipements à longue portée (40 ou 70 km) est beaucoup grand que celui des équipements de portée plus courte (une multiplication par 5 pour passer de 10 à 40 km puis par 2 pour passer de 40 à 70 km). Le modèle de coût dans le modèle soumis à consultation par l'Arcep ne prend pas en compte cette forte dépendance du coût des équipements avec la densité des NRA dans une zone.

S'il existe chez les constructeurs des solutions Giga Ethernet avec des portée de 40 km ou plus, ce sont des solutions propriétaires qui peuvent ne pas s'interconnecter. En effet seuls les conduits 1GE de portée 10 km et les conduits 10 GE de 10 et 40 km sont normalisés. (cf. réglementation IEEE 802.3). Si, par souci de neutralité entre constructeurs, le calcul de l'Autorité se restreignait aux seuls conduits GE normalisés, il faudrait supprimer de la liste des artères potentielles celles dont la longueur est supérieur à 7km (10 km de portée corrigés du facteur correcteur longueur à vol d'oiseau) pour les conduits 1GE et 27 km (40 km de portée) pour les équipements 10 GE. Dans la figure suivante nous reportons les arêtes potentielles de moins de 7km (en bleu) et de moins de 27 km (en vert).



La figure montre qu'il est tout à fait impossible de construire un réseau avec seulement des artères de moins de 7km (pas de connexité du graphe des artères de moins de 7km). Avec des artères d'au plus 27 km, le graphe est connexe et l'arbre de poids minimal appartient à cette composante connexe.

Les conduits optiques STM, quant à eux, sont normalisés et permettent des portées jusqu'à 80 km (en orange dans la figure).

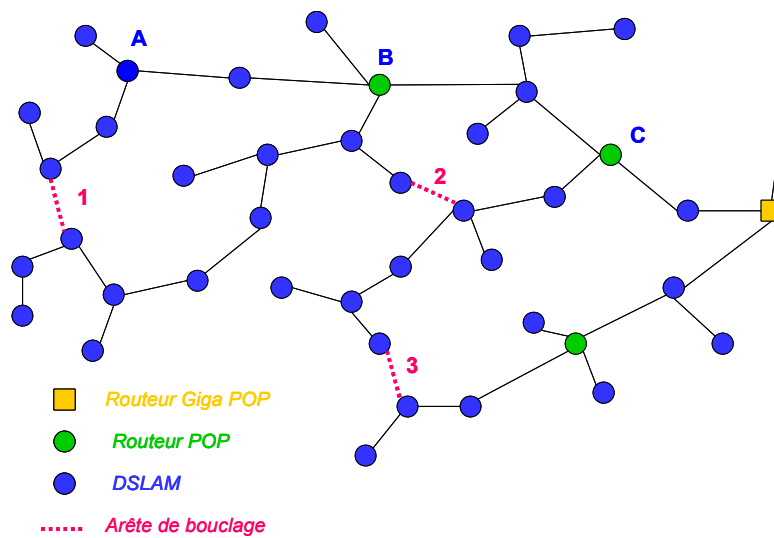
vi) Dans ce paragraphe nous allons montrer que l'ajout d'arêtes de bouclage ne permet pas d'améliorer la sécurisation du réseau avec les équipements modélisés si on ne comptabilise qu'une paire de fibres par artère. Disposer d'une topologie de réseau au moins bi connexe est bien entendu une condition nécessaire si l'on souhaite sécuriser un réseau et pouvoir faire face à d'éventuelles pannes d'équipements dans les nœuds ou coupures d'artères. Ce n'est en aucune façon une condition suffisante .

Pour améliorer la sécurité d'un réseau, il faut apporter une diversité dans les routages des trafics. La bi connexité de la topologie du réseau autorise l'établissement de chemins de routages alternatifs mais pour activer ces chemins alternatifs il est nécessaire de disposer d'équipements adéquats dans les nœuds du réseau : des brasseurs si la diversité des chemins de routage est réalisée par la couche transmission ou des routeurs si la diversité est apportée par la couche IP.

Le modèle de l'ARCEP considère seulement l'installation d'équipements de routage IP : il ne prévoit aucun équipement de brassage dans la couche transmission. Pour exploiter les chemins de routage alternatifs apportés par la brique de maillage, il faut que les équipements dans les nœuds adjacents aux artères ajoutées (artères 1, 2 et 3 dans figure) ou dans les autres points de diversifications du réseau (nœuds de degré > 2) disposent de fonctions évoluées de routage IP. Il y peu de raison pour que des routeurs soient installés dans les nœuds adjacents à une artère ajoutée bien au contraire. Les arêtes de maillage sont ajoutées pour maximiser un indicateur de connexité et bien souvent ces arêtes de maillage seront ajoutées entre des feuilles de l'arbre initial.

On peut se reporter à la carte B dans l'annexe pour voir que c'est ce qu'il se passe dans l'exemple de la région Rhône Alpes 5^{ème} stade. Dans les nœuds de diversité topologique (nœuds de degré > 2) on observe plus souvent la présence d'un DSLAM que celle d'un routeur. On retrouve ainsi la même contrainte que celle exposée dans ii) : les DSLAMs doivent disposer de fonctions de routage IP avancées Ils doivent notamment faire tourner un protocole de routage IGP (IS-IS par exemple). Nous avons déjà signalé dans ii) l'existence fortement improbable de tels équipements universel : à la fois DSLAM et routeurs.

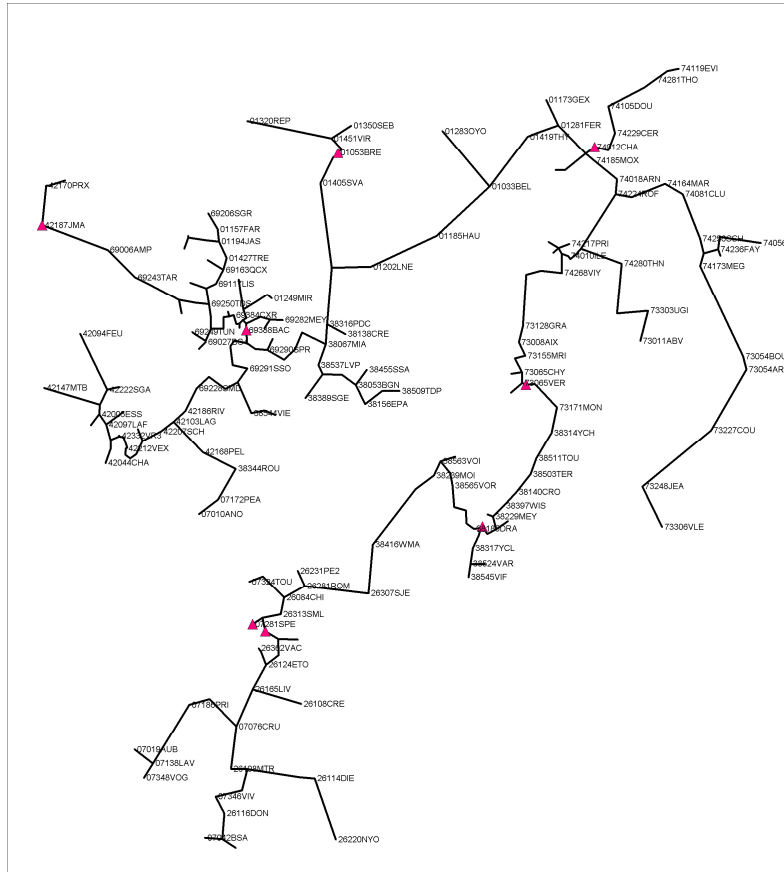
Signalons que la diversité de routage qui serait apportée par les nœuds de degré > 2 situés sur des boucles topologiques ne permettrait qu'une recombinaison des cascades de DSLAMs. On ne pourrait pas en effet les utiliser pour répartir les DSLAMs d'une "cascade amont" sur plusieurs branches ("cascade").de l'arbre aval (les branches en direction du Giga POP). Cette limitation est due aux propriétés des protocoles de routage IGP d'un réseau IP. Ces recombinaisons de "cascades" de DSLAMs aggraverait de plus les surcharges des branches proches du Giga POP (cf point iv) dans § suivant). En cas de panne du DSLAM ou d'une coupure d'une des artères situés en aval du routeur c dans l'exemple de la figure suivante, l'ensemble de tous les DSLAMs de ce sous-réseau se retrouveraient sur une seule et même branche. La profondeur maximale (nombre de routeurs et de DSLAMs traversés) de cette branche serait aussi beaucoup plus longue.



CARTES

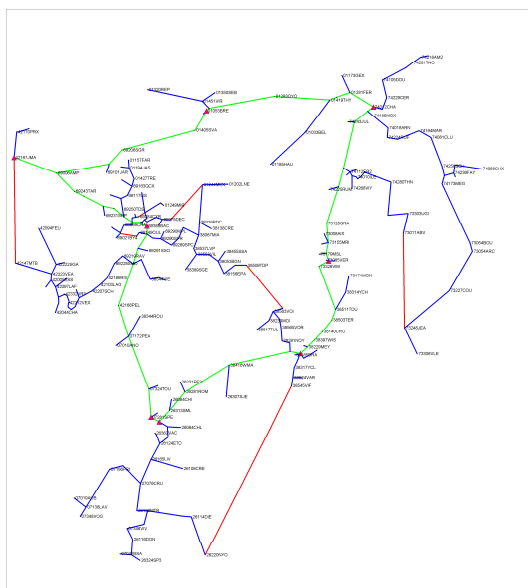
A) Carte Région Rhône Alpes stade 5

Tracé du réseau obtenu par le modèle de tracé pour l'option collecte pure IP ()



B) Carte Région Rhône Alpes stade 5

tracé du réseau obtenu par le modèle de tracé pour l'option de collecte mixte IP-ATM



C) Carte Région Rhône Alpes stade 1

tracé du réseau obtenu par le modèle de tracé pour l'option de pure collecte IP

