



ETUDE DE LA FIABILITE ET DE LA DISPONIBILITE D'UN RESEAU TELECOM WAN

José Sanchez-Torres, Thomas Chaudonneret

► To cite this version:

José Sanchez-Torres, Thomas Chaudonneret. ETUDE DE LA FIABILITE ET DE LA DISPONIBILITE D'UN RESEAU TELECOM WAN. Congrès Lambda Mu 21, “ Maîtrise des risques et transformation numérique : opportunités et menaces ”, Oct 2018, Reims, France. <hal-02065485>

HAL Id: hal-02065485

<https://hal.science/hal-02065485v1>

Submitted on 12 Mar 2019

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



HAL Authorization

ETUDE DE LA FIABILITE ET DE LA DISPONIBILITE D'UN RESEAU TELECOM WAN

RELIABILITY AND AVAILABILITY OF AN INDUSTRIAL WIDE-AREA NETWORK

José Sanchez-Torres, Thomas Chaudonneret
EDF R&D
7 Boulevard Gaspard Monge
91120 Palaiseau

Résumé

Dans le cadre de la conception d'un réseau WAN IP à fibres optiques, une étude de sûreté de fonctionnement a été réalisée pour estimer sa disponibilité, identifier les points de faiblesses et apprécier le bénéfice des liaisons secours sur la connectivité.

Cette publication présente d'une part l'approche méthodologique utilisée, et d'autre part, le développement d'un outil logiciel (base de connaissances) en lien avec cette méthode. La démarche de modélisation concrète mise en œuvre est divisée en deux temps : tout d'abord, une modélisation fine de chaque matériel à l'aide d'arbres de défaillances, puis la modélisation de l'ensemble du réseau via la Plateforme Outils KB3.

Summary

As part of the design of an IP-based fiber optic network, a reliability study was conducted to estimate its availability, to identify weaknesses, and to quantify the benefits of backup links.

This paper presents the methodological approach used and the development of a software tool (KB3 tool knowledge base) to facilitate its implementation. The implemented approach is divided into: (1) availability calculation of networks devices and (2) modeling of the entire IP-based network using the knowledge base developed for this study.

Regardless of the size of the network, the developed knowledge base made performing availability calculations and results validation much easier.

1. Contexte

La digitalisation croissante des actifs contribue à rendre nos systèmes plus intelligents ; mais aussi plus dépendants à des moyens de communications de plus en plus performants. Or les équipements et les liaisons de ces réseaux télécoms sont susceptibles de subir des défaillances pouvant impacter leur bon fonctionnement.

Lorsque ces réseaux visent à interconnecter des sites sensibles, les exigences en disponibilité de la connectivité IP sont élevées. Il faut donc s'assurer, dès la conception, que les architectures de réseaux sont cohérentes avec ces besoins. Afin d'estimer a priori leur sûreté de fonctionnement, et accompagner ainsi les entités métiers en charge de leur conception et exploitation, des méthodes mathématiques spécifiques ainsi que des outils logiciels performants capables de modéliser des systèmes de grande taille sont nécessaires.

Dans le cadre de la conception de l'architecture d'un réseau WAN IP desservant plusieurs sites (datacenter, site client), une étude de sûreté de fonctionnement a été réalisée pour estimer la disponibilité globale de l'architecture du réseau, d'identifier les points de faiblesses et les sites les moins bien desservis, et d'apprécier le bénéfice de certaines liaisons secours additionnelles sur la connectivité IP.

L'étude de la fiabilité et de la disponibilité des réseaux de télécommunication, notamment pour les réseaux de type WAN, fait l'objet d'un important corpus bibliographique, et notamment de recommandations de l'UIT (Union Internationale des Télécommunications) par rapport aux paramètres et aux méthodes de sûreté de fonctionnement à employer pour les systèmes à fibres optiques. La méthode ainsi préconisée repose sur les modèles Markoviens (UIT, 1997).

Utilisés tels quels, les modèles de Markov présentent toutefois une limite significative : sur des systèmes réels, le nombre possible d'états peut être extrêmement important, aussi la conception du graphe et la résolution des équations sous-jacentes peuvent être très fastidieuses. C'est la raison pour laquelle des outils informatiques, qui permettent la conception automatique de modèles markoviens à partir de formalismes de plus haut niveau, et qui autorisent leur évaluation de façon très optimisée, sont utilisés. À EDF, la R&D a mis au point un ensemble d'outils dédiés à cet effet au sein de la Plateforme Outils KB3.

Cette publication présente d'une part l'approche méthodologique utilisée, basée sur les recommandations internationales pour ce type de systèmes, et d'autre part, le développement d'un outil logiciel (base de connaissances) visant à faciliter la mise en œuvre de cette approche pour des systèmes de grande taille (réseaux WAN).

Le réseau WAN qui fait objet de cette publication, permet la communication entre différents sites et un datacenter, à travers un réseau à fibres optiques comme structure physique de transmission de données, ainsi que du MPLS comme mécanisme de transport de données. Ce réseau WAN et ses équipements constitutifs seront présentés dans les sections à suivre.

La démarche de modélisation concrète mise en œuvre pour cette étude est divisée en deux temps : dans un premier temps, des modèles de sûreté de fonctionnement ont été réalisés pour chaque type de matériel constitutif du réseau, chaque modèle a ensuite été analysé par un outil de calcul afin d'estimer un taux de panne équivalent du matériel, et le temps de réparation associé. Puis, un modèle système unique de l'ensemble du réseau a été

réalisé à l'aide de la base de connaissances développée pour cette étude. Le paramétrage des taux de défaillances et des temps de réparation des différents matériels constitutifs étant réalisé à partir des résultats obtenus sur les arbres pour chaque matériel.

2. Description du réseau WAN étudié

Nous rappelons ici les concepts basiques des réseaux WAN, (Wide Area Network) en fonction du modèle OSI (Peterson *et al.*, 2003), ainsi que ces principaux équipements, afin de mieux expliciter la modélisation réalisée. Notamment, nous décrivons le routage optique et le routage IP.

La couche physique (couche 1 du modèle OSI) fournit les moyens nécessaires à l'activation, au maintien et à la désactivation des connexions physiques destinées à la transmission de bits entre deux sites. La connexion physique dans le réseau WAN étudié est assurée par la fibre optique (FO). Dans cette couche, les fonctions de *multiplexing*, de modulation et de *circuit Switching* sont assurées. Les différents équipements de la Figure 1 assurent le routage de signaux optiques selon leur longueur d'onde.

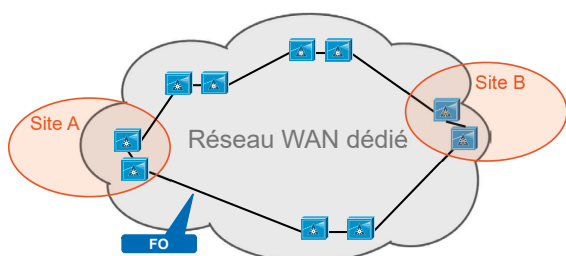


Figure 1. Routage Optique réseau WAN dédié

Le routage de données entre sites (la couche réseau, ou couche 3 du modèle OSI) est assuré par le protocole IP. Le mécanisme de transport de données est MPLS (*MultiProtocol Label Switching*) (Peterson *et al.*, 2003). Pour rappel, ce type de mécanisme utilise deux types de routeurs : le Routeur CE (*Customer Edge*) et le Routeur PE (*Provider Edge*). Le premier permet aux clients d'entrer dans le réseau. Le routeur PE permet d'entrer dans le Backbone du réseau MPLS, c'est ce qu'on appelle le rattachement des routeurs CE. La Figure 2 illustre un réseau MPLS général, avec les liaisons entre les sites. Les liaisons entre les routeurs PE des différents sites sont assurées par le réseau de fibres optiques.

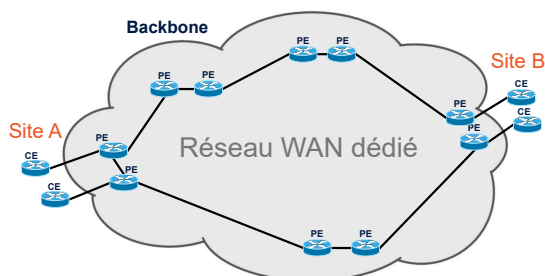


Figure 2. Routage IP réseau WAN dédié

Physiquement, le réseau optique WAN dédié est constitué de trois éléments principaux : des supports physiques de transmission (Fibre Optique), des équipements de routage/amplification optique et des équipements de routage IP. La Figure 3 illustre ces différents composants.

2.1. Equipements optiques

La **Fibre Optique** est le support physique de transmission utilisé pour connecter les différents équipements optiques DWDM.

Les équipements optiques de transmission de données avec multiplexage en longueur d'ondes à forte densité **DWDM** (en anglais *Dense Wavelength Division Multiplexing*), vont permettre d'acheminer les flux optiques selon leur longueur d'onde. Ces équipements peuvent soit rediriger le flux vers un autre DWDM, soit rediriger le flux vers un équipement de routage IP comme les routeurs PE ou CE.

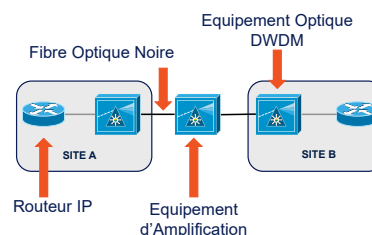


Figure 3. Equipements réseau WAN

Enfin, les **amplificateurs** sont utilisés, entre deux sites éloignés de plus de 100km, afin de conserver le signal optique de la source. L'équipement ne comporte que des composants d'amplification. Il est à noter que les deux composants d'amplification doivent être fonctionnels pour assurer la disponibilité de la paire de FO.

2.2. Equipements de routage IP

Tel que mentionné auparavant, sur le réseau WAN, deux types de routeurs sont utilisés : les routeurs CE (*Client Edge*) et les routeurs PE (*Provider Edge*). Les premiers routent en IP le trafic entre les sites clients et le backbone, et les seconds gèrent le réseau WAN en coordination avec les autres routeurs PE positionnés dans les différents sites du réseau.

Par ailleurs, chaque site est rattaché au Backbone à travers deux routeurs PE, qui sont généralement les plus proches. La perte de connectivité avec ces deux routeurs PE rattachés a pour conséquence l'impossibilité d'entrer dans le backbone.

Lorsqu'un site est équipé de routeurs PE, il est appelé « Agrégateur IP ». Si le site est équipé seulement de routeurs CE, il est appelé « Site Feuille ». Cette distinction permettra de modéliser le comportement des équipements de routage et ainsi calculer leur impact sur la connectivité entre les sites et le datacenter.

Dans le cadre de notre étude, la principale différence entre les routeurs PE et CE est que les routeurs PE sont équipés de deux cartes de gestion du réseau. Ce qui aura un impact dans le taux de défaillance équivalent pour chaque équipement.

3. Démarche méthodologique

3.1. Principes généraux

Pour les études de réseaux de télécommunication à fibres optiques, l'UIT (UIT, 1997) définit « un ensemble de paramètres nécessaires pour décrire la fiabilité et la disponibilité des systèmes à fibres optiques, à savoir la fiabilité et la maintenance des systèmes, la fiabilité des dispositifs optiques actifs, la fiabilité des dispositifs optiques passifs ainsi que la fiabilité des fibres et câbles optiques. ».

De la même façon, l'UIT recommande l'utilisation de techniques d'analyse markoviennes, qui reposent sur la conception d'un graphe des différents états de fonctionnement et de dysfonctionnement du réseau étudié, dont les transitions entre états sont régies par des lois de probabilité représentant la survenue de différents événements (pannes de matériels, réparations, etc.).

Par ailleurs, CISCO (Oggerino, 2001) et HUAWEI (Huawei, 2014) utilisent les BDF (blocs-diagrammes de fiabilité) pour faciliter la conception des modèles. Cette technique permet de représenter l'état de marche d'un système en fonction des états de marche de ses composants appelés blocs.

Signalons également que la norme CEI 61907 « Ingénierie de la sûreté de fonctionnement des réseaux de communication » fournit des lignes directrices pour l'ingénierie de la sûreté de fonctionnement des réseaux de communication, et plus globalement sur la gestion de leur cycle de vie, mais sans rentrer toutefois dans le détail des méthodologies permettant l'évaluation de la fiabilité et de la disponibilité d'un réseau (CEI, 2009).

Pour cette étude, l'approche par modèles markoviens est retenue. Ces techniques sont déjà couramment utilisées à EDF pour la modélisation des centrales de production, ainsi que pour les réseaux électriques de transport et de distribution (Chaudonneret *et al*, 2016). Pour simplifier la conception des modèles markoviens, le formalisme BDMP (Boolean Logic-Driven Markov Processes) a été employé (Bouissou *et al*, 2003).

L'approche de modélisation initialement envisagée pour l'étude consistait à utiliser différents arbres « imbriqués » :

- Des arbres représentant les défaillances des différents équipements télécom du réseau considéré (routeurs CE, routeurs PE, DWDM, etc.) en fonction des pannes de leurs sous composants élémentaires. La quantification de ces arbres permettant d'estimer des taux de défaillances et des temps de réparations équivalents...
- ...utilisés comme données d'entrée d'arbres représentant les défaillances des tronçons de réseaux (ensemble d'équipements en série, par exemple des sites amplificateurs et les FO réalisant les liaisons), dont les résultats auraient été utilisés...
- ...comme données d'entrée d'arbres représentant les défaillances de liaisons entre sites (succession de tronçons et de sites), dont les résultats auraient alimenté...
- ... des modèles globaux de connectivité entre deux points du réseau donné.

Cette approche est résumée sur le graphique de la Figure 4, pour l'exemple de la connectivité entre deux sites donnés.

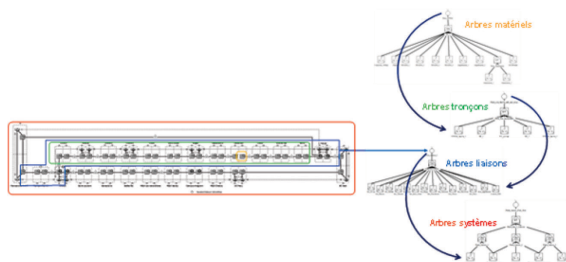


Figure 4. Illustration de la démarche de modélisation par arbres imbriqués

Bien que cette approche permette de factoriser et mutualiser plusieurs pans d'arbres, elle conduit à un nombre de modèles importants et interdépendants : ainsi

une modification au niveau de l'arbre modélisant la défaillance d'un composant télécom, par exemple, entraîne la nécessité de recalculer l'ensemble des arbres impliqués par cette modification, ce qui est fastidieux (le changement de paramètres d'un arbre en fonction des résultats d'un arbre sous-jacent devant être réalisée à la main). Ce jonglage entre différents arbres aurait par ailleurs été propice aux erreurs et rendait le suivi des mises à jour d'une étude difficile.

Assez rapidement, le besoin de disposer d'une base de connaissances facilitant la modélisation du système et ses modifications ultérieures, mais aussi la validation du paramétrage et du comportement du système avec les experts métiers télécom, est apparu.

3.2. Elaboration de la base de connaissances

3.2.1. Principes de base

La plateforme outils FIGARO permet à l'utilisateur de concevoir ses propres bases de connaissances pour répondre à ses besoins spécifiques. L'intérêt étant que les outils de quantification de la plateforme ont été rigoureusement validés, et que l'analyste a ainsi l'assurance que les résultats produits par les modèles réalisés à l'aide d'une base de connaissance de sa conception sont justes si le comportement fonctionnel et dysfonctionnel qu'il renseigne au sein de chaque composant de la base est correct.

Une base de connaissances a été spécifiquement conçue pour cette étude afin de pallier les limites de la modélisation par arbres évoquées précédemment et de faciliter la validation des modèles. Elle met à disposition de l'analyste un ensemble de composants télécom présents sur les architectures de réseaux considérées (routeurs PE, routeurs CE, équipements DWDM, liaisons fibres optiques...), afin de concevoir son modèle. La Figure 5 illustre quelques exemples de tels composants.

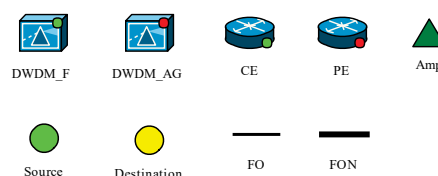


Figure 5. Exemple de composants proposés par la base de connaissances

Chaque composant de la base possède un comportement fonctionnel et dysfonctionnel paramétré de façon à pouvoir étudier la connectivité entre différentes paires de sites. Chaque matériel possède un taux de défaillance ainsi qu'un temps de réparation associé. Les conséquences de survenue d'une panne sur l'ensemble du réseau (en terme de perte de tronçon / liaison) sont représentées par la base.

La Figure 6 illustre l'exemple de l'impact de la défaillance d'un équipement DWDM sur un réseau simple : suite à la défaillance du composant (graphique passant en rouge), certaines portions du réseau ne permettent plus d'assurer la connectivité entre les deux sites, qu'ils soient fonctionnels ou non (portions représentées en gris).

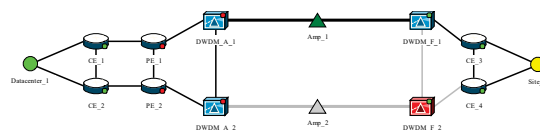


Figure 6. Illustration de l'effet d'une défaillance d'un matériel de la base

Outre la conception du modèle topologique, la base de connaissances permet également son paramétrage fonctionnel, notamment la configuration des routeurs PE réalisant le rattachement IP au backbone de chaque site étudié. Elle permet aussi le paramétrage dysfonctionnel des équipements (taux de défaillances, durées de réparation...).

3.2.2. Réduction de la combinatoire

L'estimation de la fiabilité et de la disponibilité des connexions IP par les outils de calcul repose sur la simulation des différents scénarios de défaillance susceptibles de survenir et leur quantification. Ces scénarios correspondant à la survenue de défaillances successives au niveau des matériels constitutifs du réseau. Or, les modèles de systèmes réels comportent plusieurs centaines de composants.

De ce fait, le nombre de configurations de défaillances à analyser est très important de base, et nécessite alors un temps de calcul très significatif. Par ailleurs, les scénarios de défaillances (le terme de « séquences de défaillances » est privilégié pour les outils de la plateforme) ainsi obtenus sont difficilement lisibles, puisque descendant à des niveaux de granularité très fins (défaillances des composants du réseau).

Pour permettre d'accélérer grandement les temps de calcul et faciliter la lecture des séquences de défaillances résultantes, tout en conservant la possibilité d'avoir une modélisation topologique fine (par matériels), la base de connaissances propose également un composant « Bloc Equivalent », représenté à la Figure 7.



Figure 7. « Bloc Equivalent » de la Base de Connaissances développée

Très simplement, ce composant permet de substituer un mode de panne équivalent à un ensemble de matériels et de liens connectés en série (associé à un temps de réparation équivalent) calculé automatiquement sur la base des paramètres des différents matériels constitutifs. La survenue d'une défaillance au niveau du bloc équivalent se traduisant par l'obstruction de la portion de liaison correspondante.

4. Mise en œuvre concrète de la démarche

Vu ce qui précède, la démarche de modélisation concrète mise en œuvre pour cette étude est la suivante :

- Dans un premier temps, des modèles de sûreté de fonctionnement ont été réalisés pour chaque type de matériel constitutif du réseau (routeurs PE, routeurs CE, équipements DWDM,...) avec leurs variantes éventuelles. Comme ces modèles sont assez simples, ils ont été réalisés à l'aide d'arbres de défaillances via la base BDMP. Chaque modèle a ensuite été analysé par l'outil de calcul FigSeq afin d'estimer un MTBF / taux de panne équivalent du matériel, et le temps de réparation équivalent associé.
- Puis un modèle système unique de l'ensemble du réseau a été réalisé à l'aide de la base de connaissances. Le paramétrage des taux de défaillances et des temps de réparation des différents matériels constitutifs étant réalisé à partir des résultats obtenus sur les arbres pour chaque matériel.

Dans les sous-sections qui suivent, ces deux étapes sont approfondies avec des exemples qui illustrent la mise en œuvre de la démarche.

4.1. Modélisation des composants

Pour la première partie, chaque équipement a été modélisé par BDMP, grâce à l'outil KB3 (Bouissou, 1999). À titre d'exemple, pour un routeur VoIP Cisco 12000 qui possède les cartes présentées dans la Table 1 (Oggerino, 2001), le modèle de sûreté de fonctionnement est construit afin d'obtenir le MTBF de cet équipement, voir la Figure 8.

Carte	Quantité
GSR 12 backplane	1
Blower assembly	2
AC power supply	2
Scheduler fabric	2
Switching fabric	2
Route processor	2
4 port ATM card	2
Cisco IOS software	2
20 MB Flash memory	2

Table 1. Exemple des composants constitutifs d'un routeur

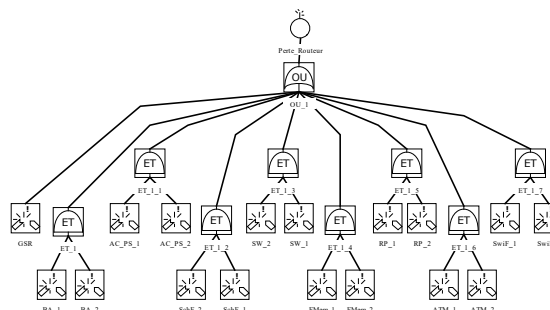


Figure 8. Exemple du modèle de Sûreté de Fonctionnement d'un routeur

De cette façon, les taux de défaillances équivalents pour chaque équipement constitutif du réseau WAN dédié sont calculés.

Généralement, le niveau de fiabilité et de disponibilité du réseau WAN est lié aux défaillances des matériels présents sur le réseau. Ces défaillances peuvent résulter de pannes matérielles, logicielles, d'erreurs humaines, de facteurs environnementaux, etc. Les taux utilisés en entrée de cette étude prennent en compte les défaillances matérielles, et certains effets d'erreurs humaines ou environnementaux (rupture de FO liée à des travaux par exemple), néanmoins, certains effets peuvent n'avoir pas été pris en compte (défaillances logicielles, malveillance, notamment).

Par rapport à la source de données, les MTBF pour chaque équipement ont été obtenus par un REX métier. Pour les MTTR, une valeur unique de 24h (GTR J+1) a été considérée pour tous les équipements.

4.2. Modélisation système

Le réseau étudié est constitué de quelques dizaines de sites, ce qui correspond à une centaine d'équipements, tout type de routage confondu.

La Figure 9 illustre le système étudié, avec un zoom sur la partie composant et sa modélisation.

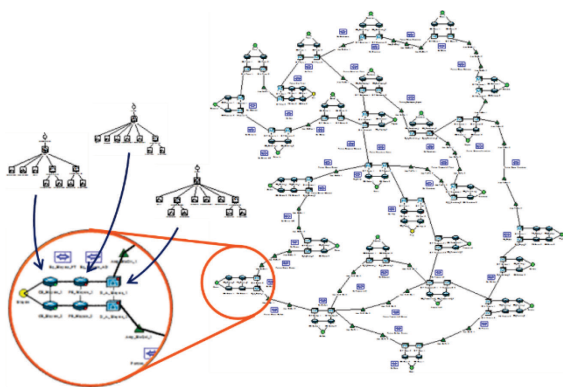


Figure 9. Illustration de la démarche d'étude mise en œuvre

Comme précédemment évoqué, cette étude vise à quantifier la fiabilité et la disponibilité de la connectivité entre différents sites et un datacenter. Le modèle conçu correspond à un modèle par connectivité, qui prend en compte les spécificités de chaque site par rapport à son rattachement au Backbone.

5. Résultats

5.1. Résultats du réseau WAN dédié

La Table 2 présente la moyenne des résultats de connectivité entre un site et le datacenter obtenus, ainsi que les valeurs estimées pour le site le moins bien desservi. Ces résultats montrent que l'architecture envisagée du réseau WAN présente un bon niveau de fiabilité et de disponibilité de la connectivité IP, comparable aux niveaux affichés par les opérateurs (en moyenne 3 « neufs ») et aux résultats présents dans la littérature (SFR, 2018), (Oggerino, 2001) pour des réseaux de ce type.

	Connectivité Site-Datacenter	
	Moyenne	Minimum
MTBF moyen (en années)	15	5
Disponibilité moyenne	99,9921%	99,9827%

Table 2. Indicateurs de fiabilité et de disponibilité moyenne

Plus finement, les résultats de la Figure 10 permettent d'identifier quelques sites « moins bien » desservis. La famille en bleu regroupe essentiellement des sites qui sont les plus éloignés en distance du datacenter, et pour lesquels le réseau présente localement un niveau de maillage moindre.

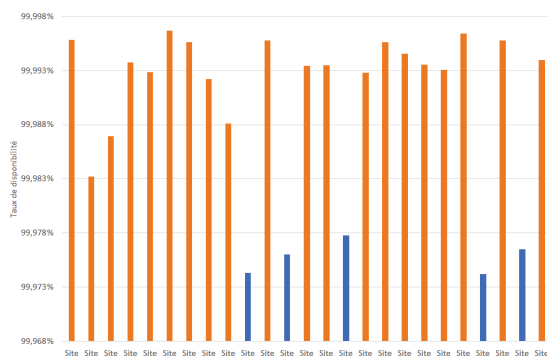


Figure 10. Disponibilité de la connectivité par site

Cette différence au niveau des résultats peut justifier la mise en place d'une portion de liaison FO supplémentaire dans le réseau WAN afin de réduire les disparités entre les indicateurs de la famille en bleu de celle de la famille en orange.

5.2. Fiabilisation du réseau WAN dédié

Afin de fiabiliser le réseau et aider à la conception et à l'amélioration itérative de l'architecture du réseau WAN, notamment pour les sites les moins bien desservis, deux évolutions ont été étudiées :

- La mise en place d'une garantie de temps de rétablissement sur les FO de 8h au lieu de 24h de base.
- L'ajout de liaisons supplémentaires pour améliorer la desserte des sites les moins bien desservis.

5.2.1. Amélioration de la Garantie de Temps de Rétablissement

Nous avons diminué la garantie de temps de rétablissement sur les FO, de 8h au lieu de 24h de base. Les résultats moyens obtenus sont présentés dans la Table 3.

	Connectivité Site-Datacenter	
	Moyenne	Minimum
MTBF moyen (en années)	19	6
Disponibilité moyenne	99,9951%	99,9895%

Table 3. Indicateurs de fiabilité et de disponibilité moyenne avec la GTR à 8h

Ainsi, en moyenne entre les différentes liaisons, le MTBF moyen passe de 15 à 19 ans avec la GTR à 8h sur la FO, soit une augmentation de 29 % (facteur multiplicatif de 1,29). Par ailleurs, en moyenne, le taux de disponibilité passe ainsi de 99,992 % à 99,995% avec la GTR à 8h sur la FO, soit une division pratiquement par 1,6 de l'indisponibilité moyenne.

5.2.2. Ajout de liaisons supplémentaires

Plusieurs liaisons supplémentaires ont été testées, afin d'évaluer laquelle permet aux sites les « moins bien desservis » de réduire ses disparités avec les autres sites. Pour illustration, les résultats de deux liaisons (en conservant la GTR à 24h) sont présentés dans la Table 4.

Configuration	MTBF (en années)	Disponibilité
Avec une liaison A (sans GTR 8h)	34	99,9965%
Avec une liaison B (sans GTR 8h)	24	99,9951%

Table 4. Indicateurs de fiabilité et de disponibilité moyenne avec liaisons supplémentaires

Les résultats montrent que les configurations réduisent de façon sensible les écarts de disponibilité entre les sites.

6. Conclusions et perspectives

L'étude réalisée a permis d'estimer les indicateurs de sûreté de fonctionnement relatifs à la connectivité IP entre sites du WAN dédié (disponibilité, MTBF...), dont les valeurs se sont révélées cohérentes avec celles classiquement rencontrées dans le domaine télécom. Notamment, l'ouvrage de CISCO « High Availability Network Fundamentals » fournit des exemples de calculs de taux de disponibilité sur des réseaux réels affichant « trois neufs ».

L'outil de calcul développé permet de :

1. Simplifier les activités de modélisation de plus d'une centaine de scénarios.
2. Valider les hypothèses et modèles avec les experts métier, grâce à l'approche graphique et à l'utilisation des icônes télécom propres du métier télécom.

Ces travaux s'inscrivent dans la perspective des études des interdépendances entre le réseau électrique et le réseau télécom, et la quantification de la résilience du réseau électrique vis-à-vis du dysfonctionnement du réseau télécom. Plus globalement, EDF R&D poursuit ses travaux sur le thème des méthodes et outils de sûreté de fonctionnement de réseaux industriels.

7. Références

- Bouissou, M. et Lefebvre, Y., 2002, A path-based algorithm to evaluate asymptotic unavailability for large Markov models, Proceedings Reliability and Maintainability Symposium.
- Bouissou, S. Humbert, S. Muffat, N. Villatte, 1999, KB3 Tool: feedback on knowledge bases. RAMS'99, Washington (EU).
- Bouissou, M.; Villatte, N., Bouhadana, H., Bannelier, M., 1991, Knowledge Modelling and Reliability Processing: Presentation of the FIGARO Language and Associated Tools, SAFECOMP'91, Trondheim.
- Bouissou, M et Bon, 2003, J.L. "A new formalism that combines advantages of fault-trees and Markov models: Boolean logic Driven Markov Processes" Reliability Engineering and System Safety, Volume 82, Issue 2, Pages 149-163
- CEI, 2009, CEI 61907 : Ingénierie de la sûreté de fonctionnement des réseaux de communication.
- Chaudonneret, T., Robin, F., Moreau, P., Monnier, C., 2016, L'outil K6 pour les études de Sûreté de Fonctionnement des réseaux électriques industriels, Congrès de maîtrise des risques et de sûreté de fonctionnement, Saint-Malo.
- Huawei, 2014, Reliability prediction report for S5700 V200R001 System V2.0. Sur le site : https://actfor.net.com/HUAWEI_SWITCH_DOCS/All_Docs/HUAWEI%20S5700%20V200R001%20Reliability%20Predication%20Report.pdf Consulté le 11 avril 2018.
- Oggerino, C., 2001, High Availability Network Fundamentals, Cisco Press.
- Peterson, L. et Davie, B., 2003, Computer Networks: A system approach, Morgan Kaufmann Edition.
- SFR, Fiche SFR IPnet (sans date) sur le site : <http://www.sfrbusinesssteam-communication.com/memopocket/fiche-sfr-ipnet.pdf> Consulté le 11 avril 2018.
- UIT-T, 1997, G.911 Paramètres et méthodes de calcul de la fiabilité et de la disponibilité des systèmes à fibres optiques, Recommandation.