

Technologie 5G

Bureau du directeur de la technologie de l'ICANN

Alain Durand
OCTO-004
23 janvier 2020



TABLE DES MATIERES

1	RESUME ANALYTIQUE	3
2	INTRODUCTION	4
3	LATENCE : LE DNS EST-IL UTILISABLE DANS UN ENVIRONNEMENT 5G A FAIBLE LATENCE ?	4
3.1	Contexte	4
3.2	Discussion	5
3.3	Position de l'ICANN	6
4	DECOUPAGE DU RESEAU : EXISTE-T-IL UN RISQUE DE MORCELLEMENT DU SYSTEME D'IDENTIFICATEURS UNIQUES D'INTERNET ?	6
4.1	Contexte	6
4.2	Discussion	7
4.3	Position de l'ICANN	8
5	LES NUMEROS DE TELEPHONE SERONT-ILS TOUJOURS PERTINENTS AVEC LE 5G ? LE 5G ENTRAINERA-T-IL L'INTRODUCTION DE NOUVEAUX ENSEMBLES D'IDENTIFICATEURS ? CES IDENTIFICATEURS SERONT-ILS DANS LE DNS ?	9
5.1	Contexte	9
5.2	Discussion	9
5.3	Position de l'ICANN	10
6	GROUPE DE DISCUSSION DE L'UIT-T « NETWORK 2030 »	10
6.1	Contexte	10
6.2	Discussion	11
6.3	Position de l'ICANN	12
7	EXISTE-T-IL DES OPPORTUNITES DE SOLUTIONS AUTRES QUE L'IP POUR L'INFORMATIQUE EN PERIPHERIE DANS LE 5G ?	12
7.1	Contexte	12
7.2	Discussion : est-il possible de déployer des solutions non IP dans le 5G ?	13
7.3	Discussion : l'IP peut-il fonctionner sur des dispositifs contraints ?	14
7.4	Discussion : comment prendre en compte les applications sensibles à la latence dans le TCP/IP ?	15
7.5	Position de l'ICANN	15

Ce document fait partie de la série de documents de l'OCTO. Veuillez consulter le site <https://www.icann.org/resources/pages/octo-publications-2019-05-24-en> pour obtenir la liste des documents compris dans la série. Si vous avez des questions ou des suggestions sur ces documents, veuillez les envoyer à octo@icann.org.

1 Résumé analytique

L'Internet devient de plus en plus mobile. La prochaine vague de dispositifs connectés à l'Internet ne sera pas limitée aux ordinateurs ou aux smartphones avec un être humain réel devant l'écran. Il y aura des communications machine à machine grâce aux dispositifs de l'Internet des objets (IoT). Compte tenu de ces deux tendances, l'introduction de la technologie 5G (la technologie sans fil de cinquième génération pour les réseaux mobiles) revêt une importance particulière pour l'Internet en général et pour l'ICANN en particulier.

La question fondamentale posée par l'introduction de la technologie 5G est la suivante : Le modèle actuel d'Internet (appelé suite des protocoles TCP/IP) est-il toujours pertinent dans un monde 5G ? Pour l'ICANN, cette question se divise dans les deux questions suivantes :

- ⦿ Le DNS est-il toujours opérationnel dans un monde 5G, en particulier en ce qui concerne les applications sensibles à la latence ?
- ⦿ L'ensemble d'identificateurs uniques que l'ICANN aide à coordonner est-il toujours utile ou la technologie 5G entraîne-t-elle le besoin d'un ensemble d'identificateurs différent ?

Au fil des ans, il y a eu un certain nombre de projets de recherche académique visant à redéfinir la mise en réseau pour un « Internet futur ». Plus important encore, toute nouvelle tentative de remplacement des protocoles TCP/IP devrait probablement tenir compte des délais de déploiement plusieurs décennies et tout avantage présumé devrait l'emporter sur les complexités et le coût de cette transition. En outre, l'ICANN note que l'IETF a déjà fait un travail important pour faire fonctionner l'IP dans des environnements contraints, tels que des dispositifs alimentés par batterie ou des réseaux à très faible consommation/très faible bande passante dans les groupes de travail 6lowpan et 6lo. D'autres efforts de l'IETF, tels que ceux du groupe de travail QUIC, font évoluer les protocoles de la couche de transport pour permettre, entre autres, le multiplexage de flux et l'établissement de connexions à faible latence.

Un nouveau système d'identification pour les applications classiques orientées à l'utilisateur du réseau 5G ne semble pas absolument nécessaire. Cependant, l'IoT est un domaine qui pourrait bénéficier de nouveaux identificateurs mondiaux, en particulier pour mieux gérer la confidentialité. Ces identificateurs pourraient être mis en œuvre directement dans le DNS.

La latence et la mise en cache de la résolution du DNS constituent un problème d'optimisation/d'opération du réseau, et pas un problème architectural. L'ICANN recommande ce qui suit pour les réseaux 5G :

- ⦿ Les caches du DNS pour les applications 5G sensibles à la latence doivent être aussi locaux que possible et avoir configuré une pré-extraction (*prefetching*) agressive.
- ⦿ Un système de mise en cache distribué peut contribuer à optimiser l'efficacité du système de résolution du DNS global.
- ⦿ Les développeurs d'applications IoT qui cherchent à minimiser l'effet de latence du DNS peuvent vouloir étudier l'adaptation de leurs applications pour interroger les données DNS bien avant l'établissement de la connexion.

L'ICANN estime que le modèle d'un seul Internet basé sur un système mondial d'identificateurs uniques est le meilleur moyen pour maximiser les avantages que l'Internet peut apporter. Il existe un risque que les plateformes populaires puissent évoluer pour tirer parti du système de

tranches de réseau à travers leurs propres systèmes privés d'identificateurs. Si cela devait se produire, l'Internet se fracturerait et seule la longue queue des applications moins connues continuera à utiliser le système global d'identificateurs uniques de l'Internet.

2 Introduction

Le présent document se penchera sur la 5G (la technologie sans fil de cinquième génération pour les réseaux mobiles) d'un point de vue technique, posant les questions suivantes : quels sont les changements que la technologie 5G produirait, le cas échéant, à l'architecture et aux protocoles Internet tels que la suite TCP/IP ? Quel serait son impact sur le système d'identificateurs uniques que l'ICANN aide à coordonner, notamment sur le système des noms de domaine (DNS) ?

3 Latence : le DNS est-il utilisable dans un environnement 5G à faible latence ?

3.1 Contexte

Les discussions relatives aux architectures mobiles ont souvent été encadrées par un équilibre entre les opérateurs et les fournisseurs. Les opérateurs sont responsables d'une grande proportion des exigences, alors que les fournisseurs créent la technologie appropriée pour y répondre. Les opérateurs sont intéressés à incorporer au marché de nouveaux fournisseurs potentiels et les fournisseurs existants sont intéressés à conserver (et à accroître) leur part de marché. Chaque nouvelle génération de technologies de communications mobiles apporte une nouvelle architecture (ou une évolution de l'architecture existante) avec la promesse de nouveaux services et nouvelles opportunités commerciales. Ces nouvelles technologies sont considérées comme un moyen pour que les nouveaux acteurs (fournisseurs, opérateurs ou tiers) déstabilisent le marché.

Avec la technologie 5G, les fournisseurs existants ont d'abord appuyé le maintien d'une architecture centralisée tout en améliorant la radio. Les nouveaux entrants ont appuyé, depuis la conceptualisation de la technologie 5G, une architecture de traitement de données à la périphérie (*edge computing*), en promouvant le SDN (réseau défini par logiciel) et la virtualisation des fonctions de réseau (NFV). (Le traitement de données à la périphérie (*edge computing*) est une conception permettant de réduire la bande passante et le délai en rapprochant les ressources nécessaires des systèmes qui en font la demande). Le contexte en est la promesse d'une baisse des dépenses en capital et la possibilité d'offrir de nouveaux services, potentiellement offerts à la carte, qui pourraient être lancés à moindre coût. Parmi ces nouveaux services, il serait possible d'offrir des communications ultra fiables à faible latence (URLLC), c'est-à-dire moins de 5 ms ou moins de 10 ms, pour les voitures autopropulsées, les véhicules-à-tout (V2X) et les applications de réalité augmentée (AR) et réalité virtuelle (VR).

Cette évolution vers la NFV a débuté en 2012, avant l'arrivée de la technologie 5G, lorsque l'Institut européen des normes de télécommunications (ETSI) a créé le Groupe de spécification de l'industrie du NFV (ISG). La technologie NFV a quelque peu évolué depuis lors et les titulaires offrent désormais une grande partie de leur gamme de produits sous le nom de fonctions réseau virtualisées (VNF). Les nuages de périphérie (*edge clouds*), sous diverses

définitions, provenaient de la communauté d'opérateurs. Il y a eu différentes initiatives de nuages de périphérie dans le domaine de la normalisation, par exemple l'informatique de périphérie multi-accès (MEC) de l'ETSI et dans les communautés à source ouverte où, par exemple, l'Edge de la Linux Foundation (LF Edge) fournit un parapluie pour « établir une structure ouverte et interopérable pour le traitement de données à la périphérie indépendante du matériel, du silicium, du *cloud* ou¹ du système d'exploitation ».

Un certain nombre d'articles^{2,3} ont été publiés récemment par certains des nouveaux fournisseurs, installant l'idée que le DNS traditionnel n'est pas compatible avec les applications 5G à latence très faible, c'est-à-dire URLLC. L'argument clé est qu'un temps d'aller-retour vers un centre de données « régional » ajoute une latence supplémentaire inacceptable. La solution que les fournisseurs proposent est de placer les résolveurs DNS dans les plateformes de traitement de données à la périphérie au lieu de centraliser la résolution du DNS dans un centre de données national ou régional.

3.2 Discussion

Le lien radio 5G n'est que la première étape de toute communication. L'un des objectifs de la technologie 5G est de réduire la latence radio à moins de 5 ms ou 10 ms de temps de trajet aller-retour (RTT). La communication est ensuite transportée (*backhauled*) d'une tour radio vers un centre de traitement de données. En supposant qu'un centre de traitement de données régional se trouve à 1000 km d'une installation à la périphérie, connecté sur fibre optique, un RTT supplémentaire de 10 ms serait ajouté. Toutefois, pour cela, le temps que prendra le résolveur pour traiter les requêtes DNS devra être pris en compte, avec un temps de calcul similaire qui doit également être ajouté aux résolveurs de validation du DNS de la périphérie. Si la destination de la connexion TCP ou UDP suivant la résolution du DNS était un hôte situé en dehors du voisinage du centre de traitement de données de proximité (*edge data center*), ce délai supplémentaire de 10 ms, qui se produit une seule fois lors de l'établissement de la connexion, serait probablement négligeable. Toutefois, si l'hôte de destination était situé dans la périphérie du centre de traitement de données (par exemple, les communications inter-VNF) ou connecté via 5G (par exemple, les chariots autopropulsés dans une mine), ce délai pourrait être important. Dans de tels cas, l'hébergement des résolveurs DNS dans le centre de traitement de données de proximité pourrait s'avérer raisonnable. Une autre option consiste à pré-charger les données DNS au démarrage pour réduire tout retard au moment de la connexion. Ceci serait faisable dans un environnement industriel où l'ensemble des destinations auxquelles un dispositif se connectera serait connu en avance. Pour les connexions Internet régulières, la latence du DNS ne semble pas être un problème.

Le fait de placer les résolveurs DNS à usage général plus près des utilisateurs dans un centre de traitement de données à la périphérie aurait pour effet de réduire le taux de réussite sur le cache du DNS du résolveur. Cet impact pourrait être atténué par l'installation d'un système de mise en cache distribué, tel qu'une hiérarchie de caches régionaux et nationaux ou par le

¹ Voir <https://www.lfedge.org>

² Voir <https://www.open-xchange.com/about-ox/ox-blog/article/dns-latency-in-a-5g-network/>

³ Voir <https://www.infoblox.com/wp-content/uploads/infoblox-solution-note-infoblox-dns-for-5g.pdf>

déploiement d'une forme de pré-chargement de l'enregistrement du DNS^{4,5}. Cependant, il existe un autre effet de la mobilité de la technologie 5G sur la mise en cache du DNS qui doit être pris en considération. Si un dispositif mobile se déplace, il peut être nécessaire de le rediriger de temps en temps vers un centre de données de proximité différent et plus proche afin de maintenir une latence inférieure à 10 ms. Cette redirection peut avoir lieu par un appel au DNS effectué par une application mobile. Dans ce cas, la réponse du DNS sera calculée à partir de la nouvelle position géographique du dispositif mobile. Il s'agit d'une variation de l'équilibrage de la charge basé sur le DNS pratiquée à ce jour par de nombreux réseaux de diffusion de contenu (CDN), sauf que la réponse ne devrait pas être mise en cache par l'appareil mobile. Il s'agit d'une pratique technique normalisée du DNS, où la durée de vie (TTL) de certains enregistrements DNS est définie à 0.

3.3 Position de l'ICANN

La latence et la mise en cache de la résolution du DNS constituent un problème d'optimisation/d'opération du réseau, et pas un problème architectural. En tant que tel, l'ICANN estime que le DNS fonctionne dans un environnement 5G à faible latence. L'ICANN formule les recommandations préliminaires suivantes :

- ⊙ Les caches DNS pour les applications 5G sensibles à la latence doivent être aussi locaux que possible et avoir configuré un pré-chargement agressif.
- ⊙ Un système de mise en cache distribué peut contribuer à optimiser l'efficacité du système de résolution du DNS global.
- ⊙ Les développeurs d'applications IoT qui cherchent à minimiser l'effet de latence du DNS peuvent vouloir étudier l'adaptation de leurs applications pour interroger les données DNS bien avant l'établissement de la connexion.

4 Découpage du réseau : existe-t-il un risque de morcellement du système d'identificateurs uniques d'Internet ?

4.1 Contexte

La technologie 5G promeut le concept de découpage du réseau en ressources de réseau abstraites et en fonctions de réseau. Elle permet aux opérateurs de créer un réseau physique unique qui peut prendre en compte des cas d'utilisation très différents : des applications à large bande passante (par exemple, diffusion en continu), des applications à faible bande passante (par exemple, connexion de dispositifs de l'Internet des objets (IoT)) avec des exigences à faible latence, des extranets d'entreprise, etc. Le découpage du réseau est un nouveau terme pour un vieux concept. Depuis le lancement la technologie 2G, les réseaux mobiles ont des capacités appelées « contextes de protocole de données par paquets (PDP) / connexions de

⁴ Un exemple de pré-chargement du DNS peut être trouvé sur https://www.researchgate.net/publication/270571591_PREFETCHing_to_optimize_DNSSEC_deployment_over_large_Resolving_Platforms

⁵ Le pré-chargement est déjà mis en place dans de nombreux déploiements de résolveurs.

réseaux de données par paquets (PDN) » qui sont sélectionnées en fonction d'un nom de point d'accès (APN). Les APN et leurs infrastructures PDP/PDN sous-jacentes ont été utilisés pour les clients d'entreprise fournissant une connectivité directe pour leurs réseaux internes. Le réseau 5G va plus loin, ce qui permet de définir les paramètres de qualité de service (QoS) du serveur. Les opérateurs seraient capables de mettre de côté la bande passante en fonction des exigences de qualité de service du client pour fournir une tranche du réseau exécutée sur une seule infrastructure physique. Actuellement, l'un des principaux cas d'utilisation du découpage du réseau est celui de l'« industrie 4.0 », terme utilisé pour décrire des scénarios dans lesquels un opérateur peut pratiquement offrir un « réseau propre » pour une usine ou une autre industrie où la bande passante est garantie et, en particulier, une latence déterministe. Cette fonctionnalité permettrait aux différents secteurs de passer d'une infrastructure filaire propriétaire à une technologie de réseau sans fil plus flexible.

4.2 Discussion

La technologie 5G est définie dans le 3GPP (projet de partenariat de troisième génération). Le groupe de travail sur l'architecture et l'aspect des services et du système 3GPP (SA2) a défini des instances de tranche de réseau (NSI), où chaque NSI contient plusieurs instances de sous-réseaux d'une tranche de réseau (NSSI). La spécification technique de l'architecture du système 3GPP pour les systèmes 5G (TS 23.501) définit l'information d'assistance à la sélection de tranche de réseau (NSSAI), qui est utilisée pour aider l'équipement utilisateur (UE) dans la sélection de tranche de réseau et le type de tranche de service (SST). Cette normalisation des tranches de réseau se trouve toujours aux étapes initiales. Elle est prête pour les tranches de réseau à provisionnement statique, mais il faut davantage de travail pour activer les tranches de réseau à provisionnement dynamique dans une approche de type SDN.

Le provisionnement de la bande passante dédiée pour un réseau spécifique n'est pas neutre pour l'opérateur. Il prend les ressources disponibles pour la base commune. Il est fondé sur l'idée que les revenus générés par le spectre mis de côté pour les clients ciblés compenseront plus que la perte de revenus générée par la baisse correspondante du spectre disponible pour les clients génériques. La façon dont le découpage du réseau sera réellement mis en œuvre et le prix qui sera appliqué par les opérateurs mobiles n'est toujours pas clair. Certains défis techniques et commerciaux rappellent les offres de débit binaire constant (DBC)/débit binaire disponible (DBD)/débit binaire variable (DBV) sur les réseaux ATM de la fin des années 1990. Les opérateurs étaient alors intéressés à proposer de tels services QoS, mais étaient réticents à laisser que leurs clients les provisionnent dynamiquement par crainte de sur-provisionner le réseau.

Au-delà de « l'industrie 4.0 », le découpage du réseau pourrait également être utilisé pour séparer entre plusieurs « services/applications ». Il est possible qu'une combinaison d'applications spécialisées plus les technologies de découpage du réseau 5G et les technologies classiques de réseau privé virtuel (VPN) / et de routage et transfert virtuels (VRF) puisse être déployée pour créer de grands extranets qui connecteraient les utilisateurs indépendamment de l'Internet commun à des services connus comme Facebook, Netflix, Amazon et d'autres. C'est le contraire de ce qui se passe aujourd'hui, où les utilisateurs peuvent accéder à tous ces services à travers un seul réseau. Au lieu de cela, une application utilisateur pourrait accéder à la tranche « Facebook », à la tranche « Netflix » ou à la tranche « Amazon » pour une meilleure performance au moment d'accéder à ces services. Il peut s'agir d'une évolution du modèle actuel dans lequel les joueurs les plus actifs déploient déjà des caches CDN à proximité des sites miroir (« eyeballs ») des réseaux des fournisseurs de

services Internet (FSI). Les tranches de réseau déployées de cette façon offriraient un réseau dédié se connectant avec des paramètres QoS limités, c'est-à-dire que la connectivité ne serait plus le « meilleur effort » ; plutôt, le dispositif serait connecté directement au réseau actif supérieur. Autrement dit, le dispositif ne se connecterait plus à Facebook, Netflix ou Amazon sur Internet, mais ferait partie de ces réseaux respectifs.

Outre les aspects de ce déploiement associés à la neutralité du Net, la multiplication de ces tranches de réseau par application serait un changement radical d'un concept clé de l'Internet : un réseau avec de multiples applications. Dans un modèle de ce genre, il y aurait plusieurs réseaux dédiés, un par application. Les tranches pourraient utiliser des noms et des adresses provenant du système d'identificateurs uniques que l'ICANN aide à coordonner au niveau mondial, mais ce n'est pas une exigence technique. À la demande du propriétaire de l'application, ces tranches peuvent être déployées à l'aide de l'ensemble d'identificateurs dédiés, de l'espace d'adresse et de l'espace de nom du propriétaire. Ce scénario augmenterait encore le morcellement de l'Internet.

Il n'y a aucune indication que ce scénario soit planifié dans les plans de déploiement initiaux ou ultérieurs du réseau 5G. En outre, les opérateurs peuvent choisir de déployer des tranches de réseau à l'aide d'identificateurs uniques mondiaux. Le risque de morcellement de l'Internet posé par le découpage du réseau semble alors faible pour le moment. Pour que le scénario décrit ci-dessus se produise, un fournisseur de contenu tel que Facebook devrait convaincre les opérateurs de 5G qui représentent un pourcentage significatif de la base de clientèle de Facebook de créer une tranche de réseau pour les exigences de Facebook, puis de connecter cette tranche à leur réseau privé de diffusion de contenu. La probabilité d'un tel scénario dépend probablement de l'équilibre global du pouvoir entre les FSI et les principaux acteurs. À la fin des années 2000, il existait une situation similaire. Les fournisseurs de contenu voulaient déployer des moteurs de cache à l'intérieur des réseaux des FSI. La bande passante dédiée dans les réseaux des FSI devait être réservée pour alimenter le cache directement à partir des fournisseurs de contenu. La question était : qui paie pour cette bande passante ? Le fournisseur de contenu qui bénéficie des sites miroir (« *eyeballs* ») plus proches de son contenu, ou le FSI qui bénéficie du contenu plus proche de ses « *eyeballs* » ? Une combinaison d'une baisse du coût de la bande passante sur de longues distances et d'une augmentation de la puissance de ces fournisseurs de contenu signifie que ces caches sont désormais une réalité, couramment déployés à l'intérieur des réseaux des FSI. La création de tranches de réseau privées peut simplement être une répétition de cette discussion.

4.3 Position de l'ICANN

L'ICANN estime que le modèle d'un seul Internet basé sur un système mondial d'identificateurs uniques est le meilleur moyen pour maximiser les avantages que l'Internet peut apporter. Il existe un risque que les plateformes populaires puissent évoluer pour tirer parti de la tranche de réseau à l'aide de leur propre système d'identificateurs. Si cela devait se produire, l'Internet se fracturerait et seule la longue queue des applications moins connues continuera à utiliser le système global d'identificateurs uniques de l'Internet.

5 Les numéros de téléphone seront-ils toujours pertinents avec le 5G ? Le 5G entraînera-t-il l'introduction de nouveaux ensembles d'identificateurs ? Ces identificateurs seront-ils dans le DNS ?

5.1 Contexte

L'utilisation de la voix sur LTE (VoLTE) pour le service vocal de base, ainsi que les rôles désormais dominants des services tels que WhatsApp, Telegram, FaceTime et d'autres peuvent suggérer que les numéros de téléphone sont restés dans le passé.

Les communications dans l'ère de l'IoT peuvent également demander des ensembles très différents d'identificateurs, soit éphémères ou persistants, associés à diverses exigences de confidentialité et de sécurité.

La question est la suivante : dans le 5G, quels nouveaux identificateurs, le cas échéant, sont requis ? Ces identificateurs seraient-ils basés sur le DNS ou pas ? L'IP (v4 ou v6) est-il toujours pertinent ?

5.2 Discussion

Les numéros E.164⁶ sont utilisés dans les réseaux mobiles uniquement pour identifier les périphériques des utilisateurs finaux. En interne, depuis le lancement du 2G, les réseaux mobiles utilisent un autre identificateur, appelé le numéro d'identité de l'abonné mobile international (IMSI), pour acheminer les appels. De même, WhatsApp et d'autres applications similaires utilisent un numéro de téléphone E.164 pour identifier un utilisateur mais utilisent les adresses IP pour transférer des données et passer des appels. Autrement dit, l'E.164 perdure comme numéro d'identité de l'utilisateur final.

L'Enum⁷ n'a pas été déployé largement au-delà de la portabilité des numéros de téléphone.

Il n'y a pas de ponts entre les différents systèmes de messagerie instantanée (IM) et les plateformes de réseaux sociaux. La raison en est que ces plateformes se font la concurrence entre elles et n'attachent aucune valeur à l'interopérabilité. Par exemple, si un utilisateur de WhatsApp voulait communiquer avec un utilisateur de Telegram, au moins un d'entre eux devrait s'inscrire à l'autre service et télécharger l'application appropriée. Dans ce contexte, un système d'annuaire générique introduisant un nouvel ensemble d'identificateurs qui

⁶ L'E.164 est une recommandation de l'UIT-T qui définit un plan de numérotation international pour le réseau téléphonique commuté public (RTCP) à l'échelle mondiale.

⁷ Enum est un mappage d'un numéro de téléphone E.164 dans un identificateur uniforme de ressources (URI) via le DNS. Enum est défini dans les documents <https://tools.ietf.org/html/rfc6116> et <https://tools.ietf.org/html/rfc6117>.

correspondent à une plateforme de messagerie instantanée ou à un réseau social spécifiques ne serait pas très utile.

Aujourd'hui, les fabricants de dispositifs adaptés à l'IoT utilisent généralement leurs propres systèmes exclusifs pour les identifier et communiquer avec ces dispositifs. Les fabricants ont le choix entre de nombreux mécanismes : le numéro de série de l'appareil, le numéro IMEI⁸, une adresse MAC, un identificateur associé à la DOA ou quelque chose d'entièrement exclusif. La plupart de ces identificateurs sont liés au matériel et sont persistants. Cette persistance pourrait générer des soucis de confidentialité si la correspondance entre l'identificateur persistant et le propriétaire/utilisateur du dispositif était obtenue. Pour répondre à ce problème, il pourrait être nécessaire de créer un nouvel ensemble d'identificateurs éphémères et sensibles à la vie privée. Le bureau du directeur de la technologie de l'ICANN s'est penché sur l'utilisation de ces identificateurs éphémères ou persistants hébergés dans le DNS et a développé des prototypes qu'il a présentés lors de la réunion de l'ICANN à Abu Dhabi en novembre 2017 pour démontrer la viabilité de l'utilisation du DNS pour les identificateurs IoT.

Le 5G, tout comme le 4G et les itérations précédentes, dépend largement des adresses IPv4 et Ipv6, ainsi que des noms de domaine. Les avantages de l'introduction d'un nouveau système d'identificateurs devraient l'emporter sur les complexités et les coûts du développement et du déploiement d'un tel nouveau système tout en maintenant l'interopérabilité avec les noms de domaine/adresses IP existants.

5.3 Position de l'ICANN

Un nouveau système d'identification pour les applications classiques orientées à l'utilisateur du réseau 5G ne semble pas absolument nécessaire. Cependant, l'IoT est un domaine qui pourrait bénéficier de nouveaux identificateurs mondiaux, en particulier pour mieux gérer la confidentialité. Ces identificateurs pourraient être mis en œuvre directement dans le DNS.

6 Groupe de discussion de l'UIT-T « Network 2030 »

6.1 Contexte

Bien qu'il ne soit pas directement lié au 5G (pas encore), l'UIT-T a entrepris un nouvel effort dans le groupe de discussion « Network 2030 »⁹. L'objectif fixé est de définir un nouveau protocole réseau de couche 3 (comme remplacement de l'IP). Un livre blanc¹⁰ et un rapport technique¹¹ ont été publiés en 2019 partant du fait que le TCP/IP n'est pas adapté aux applications futures telles que les communications holographiques et les communications machine-à-machine. Un élément clé mis en évidence par le groupe Network 2030 est un

⁸ L'IMSI (numéro international d'identité d'un abonné mobile) est un code utilisé par l'opérateur mobile pour identifier la carte SIM sur le réseau mobile. Le code IMEI (code international d'identité d'un dispositif mobile) est un « numéro de série » international pour l'appareil lui-même.

⁹ Voir <https://www.itu.int/en/ITU-T/focusgroups/net2030/Pages/default.aspx>

¹⁰ Voir https://www.itu.int/en/ITU-T/focusgroups/net2030/Documents/White_Paper.pdf

¹¹ Voir https://www.itu.int/en/ITU-T/focusgroups/net2030/Documents/Deliverable_NET2030.pdf

mécanisme de contrôle de l'accès pour dépasser les meilleurs efforts et garantir le retard et l'instabilité. Une interface de programmation d'applications (API) est nécessaire pour permettre aux applications de programmer le réseau directement avant d'établir une communication au lieu de mesurer les caractéristiques de propagation du réseau et de s'y adapter. Un autre élément de conception consiste à regrouper les flux de communication afin de pouvoir se trouver sur un pied d'égalité en cas de congestion. Un troisième élément vise à permettre aux éléments de la couche réseau de « dégrader » certains flux de trafic en cas de congestion.

Au lieu de cibler un réseau omniprésent, cet effort de Network 2030 vise à créer des ensembles de réseaux adaptés à des verticales spécifiques. Une situation normale pour un dispositif de réseau pourrait être de se connecter à « plusieurs » Internets spécialisés au lieu d'un seul.

Note : Network 2030 applique des infrastructures de lignes câblées pensant aux réseaux sans fil dans des architectures « au-delà du 5G »/6G.

6.2 Discussion

Les affirmations selon lesquelles le TCP/IP ne serait pas adapté à certains types d'applications à venir ne sont pas nouvelles. En fait, elles réapparaissent avec la création de chaque nouvelle technologie de réseau d'accès, telle que le DSL, la Fibre jusqu'au domicile (FTTH), le 3G, le 4G, le 5G, etc. Le nombre d'efforts visant à améliorer le protocole de transport TCP montre que la plupart des initiatives finissent par conclure que le TCP reste la meilleure approche.

Cependant, il pourrait y avoir un avenir où ce ne serait plus le cas, potentiellement lors de la gestion de connexions avec des engins spatiaux, des planètes et d'autres objets éloignés. Cela ne signifie pas qu'il n'existe pas de besoin d'un nouveau protocole de transport autre que le TCP ; le travail de normalisation du protocole de transport QUIC¹² de l'IETF, qui permet, entre autres, le multiplexage de flux et l'établissement de connexions à faible latence, est assez avancé.

Les discussions sur la nécessité (ou non) de mécanismes de contrôle de l'admission pour garantir la qualité de service se poursuivent depuis l'aube du réseautage. Au cours des dernières décennies, la réponse à ces questions a simplement été « plus de bande passante », plutôt que de revenir à un modèle de mise en réseau orienté à la connexion, tel que le réseau téléphonique existant, comme le préconise Network 2030.

Le regroupement des flux et la fourniture d'une nouvelle API pour permettre à une application de mieux communiquer les exigences au réseau sous-jacent ne requièrent pas de nouveau protocole de couche. De nombreux efforts ont été entrepris dans ce sens au sein de l'IETF. Il convient également de noter comment la bande passante du flux a été adaptée dans les réseaux de diffusion de contenu vidéo depuis de nombreuses années, à l'aide de relais des couches d'application.

Les documents de Network 2030 sont principalement axés sur les communications machine-à-machine qui nécessitent un temps de trajet aller-retour (RTT) de moins de 10 ms ou même de moins de 1 ms. Comme le souligne le document technique publié par le groupe de discussion de l'UIT-T FG2030, cette exigence est limitée par la vitesse de la lumière. Le RTT de 10 ms revient à environ 1000 km et 1 ms, à 100 km. C'est à dire que nous parlons ici de réseaux locaux (ou régionaux tout au plus) où des technologies spécialisées et des pratiques

¹² Voir <https://datatracker.ietf.org/doc/draft-ietf-quic-transport/>

d'ingénierie pourraient être déployées pour répondre aux exigences spécifiques sans affecter l'Internet mondial.

L'idée que les dispositifs soient connectés à « plusieurs » Internets spécialisés partage certains des mêmes problèmes potentiels abordés ci-dessus.

Il convient de noter que les exigences et les cas d'utilisation présentés dans le groupe Network 2030 ne sont pas très détaillés et ne présentent pas une base technique très solide et convaincante sur la nécessité d'une nouvelle suite de protocoles de mise en réseau. À ce titre, ce travail pourrait être considéré comme prématuré et plus proche de la science-fiction (p. ex. les communications holographiques) que des problématiques actuelles et réelles associées à la mise en réseau. Il convient également de noter que ce groupe de discussion ne semble pas être représentatif de l'ensemble de l'industrie.

Le groupe de discussion 2030 était censé achever ses travaux en novembre 2019, mais il a obtenu une prolongation d'un an.

Il est important de ne pas oublier la difficulté de la transition de l'IPv4 à l'IPv6. Plus de 20 ans après la normalisation de l'IPv6, ce dernier reste toujours très loin d'être déployé universellement. Toute nouvelle tentative de remplacer les protocoles TCP/IP devrait probablement prendre en compte des délais de plusieurs décennies.

6.3 Position de l'ICANN

Au fil des ans, il y a eu un certain nombre de projets de recherche académique visant à redéfinir la mise en réseau pour un « Internet futur ». Cependant, le développement et la normalisation de protocoles de couches de réseau et de transport tels que la suite de protocoles TCP/IP appartiennent traditionnellement au domaine de l'IETF et pas à l'UIT-T. Plus important encore, toute nouvelle tentative de remplacer les protocoles TCP/IP devrait probablement tenir compte de délais de plusieurs décennies et tout avantage présumé devrait l'emporter sur les complexités et le coût de cette transition.

7 Existe-t-il des opportunités de solutions autres que l'IP pour l'informatique en périphérie dans le 5G ?

7.1 Contexte

Des solutions autres que l'IP pour l'informatique en périphérie dans le 5G ont été proposées pour répondre à la latence perçue ou aux limitations présumées du modèle IP afin de prendre en charge des environnements limités tels que les dispositifs fonctionnant sur batterie ou les réseaux à faible consommation d'énergie/faible bande passante, ou pour prendre en charge correctement les applications sensibles à la latence.

7.2 Discussion : est-il possible de déployer des solutions non IP dans le 5G ?

Cette question peut être divisée de différentes façons :

Deux dispositifs fonctionnant dans le réseau 5G connectés au même périphérique, peuvent-ils communiquer directement, éventuellement en utilisant des solutions non IP au niveau de la couche 3 ?

Oui, cela est possible aujourd'hui. La version 15 du protocole 3GPP¹³ a défini une unité de données par paquets Ethernet (PDU), de sorte que deux dispositifs connectés de cette manière pourraient soit communiquer directement entre eux sur la couche 2 via Ethernet, soit déployer le protocole de couche 3 de leur choix, pas nécessairement l'IP. De tels dispositifs devraient mettre en œuvre une pile de protocoles spécialisée. Ceci est possible dans un marché vertical tel que celui des communications entre machines (M2M) dans le contexte de l'industrie 4.0.

Deux dispositifs fonctionnant dans le réseau 5G connectés au même périphérique, peuvent-ils communiquer directement, éventuellement en utilisant de nouvelles extensions de couche 2 ?

C'est possible, dans un avenir proche. Le 3GPP cherche à définir un profil pour prendre en charge les extensions TSN (Time Sensitive Networking)¹⁴ de la norme IEEE 802.1¹⁵ adoptées dans la version 16 du 3GPP¹⁶. Comme dans le cas précédent, les dispositifs devraient déployer une pile de protocoles spécialisée. Ceci est possible dans un marché vertical tel que celui des communications machine à machine (M2M) dans le contexte de l'industrie 4.0.

Un dispositif fonctionnant dans le réseau 5G peut-il utiliser une technologie autre que l'IP pour communiquer avec un serveur du centre de données de proximité ?

Oui. Le serveur devrait déployer une pile de protocoles spécialisée.

Il convient de noter que les cas ci-dessus ne s'appliquent vraiment qu'aux communications privées entre des dispositifs sous le même contrôle administratif (ou connexe) qui sont relativement proches en termes géographiques. Si les deux terminaux sont éloignés, tout avantage de latence perçu du remplacement de l'IP disparaît en raison de la limitation de la vitesse de la lumière. Si la communication inclut des entités sous différents contrôles administratifs, la complexité de la mise en place des connexions techniques et les relations commerciales appropriées entre les différentes entités compliqueraient ce scénario.

¹³ Voir <https://www.3gpp.org/release-15>

¹⁴ Voir <https://1.ieee802.org/tsn/>

¹⁵ Voir <https://1.ieee802.org>

¹⁶ Voir <https://www.3gpp.org/release-16>

7.3 Discussion : l'IP peut-il fonctionner sur des dispositifs contraints ?

Le Groupe de travail de génie Internet (IETF) s'est beaucoup investi pour faire fonctionner le protocole IP sur des réseaux contraints. En particulier, le groupe de travail 6lowpan¹⁷ et son successeur 6lo¹⁸ ont défini des extensions pour permettre le fonctionnement de l'IP sur les dispositifs soumis à des contraintes de ressources, tels que les dispositifs fonctionnant à batterie ou utilisant une bande passante très faible.

Parmi les technologies de couche de liaison prises en charge, nous pouvons mentionner : L'IEEE 802.15.4¹⁹ prise en charge dans le RFC4944,²⁰, l'UIT-T G.9959²¹ (Zwave) prise en charge dans le RFC7428²², la « *Bluetooth à basse consommation* »²³ (BLE) prise en charge dans le RFC7668,²⁴, la « *Digital Enhancement Cordless Telecommunications/Ultra Low Energy* »²⁵ (DECT-ULE) prise en charge dans le RFC8105,²⁶, la « *Master Slave Token Passing* »²⁷ (MS/TP) prise en charge dans le RFC8163²⁸, la « *Communication en champ proche* »²⁹ (CCP) prise en charge dans le draft-ietf-6lo-nfc³⁰, et la « *Communication par courants porteurs en ligne* »³¹ (CPL) prise en charge dans le draft-ietf-6lo-plc³². Diverses techniques sont appliquées, allant de la compression des en-têtes des RFC3095³³, RFC6282³⁴, RFC7400³⁵, à la fragmentation et le remontage de la couche de liaison via une couche d'adaptation prévue dans le RFC4944³⁶, à l'optimisation de protocole (par exemple l'optimisation de la découverte de voisins IPv6 du RFC6775³⁷, ou l'optimisation du routage dans les réseaux contraints du RFC6550³⁸). Les cas d'utilisation décrivant l'IP dans ces environnements contraints sont décrits dans le document draft-ietf-6lo-use-cases³⁹.

¹⁷ Voir <https://datatracker.ietf.org/wg/6lowpan/about/>

¹⁸ Voir <https://datatracker.ietf.org/wg/6lo/about/>

¹⁹ Voir <http://www.ieee802.org/15/pub/TG4.html>

²⁰ Voir <https://tools.ietf.org/html/rfc4944>

²¹ Voir <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.9959>

²² Voir <https://tools.ietf.org/html/rfc7428>

²³ Voir <https://www.bluetooth.com/learn-about-bluetooth/bluetooth-technology/radio-versions/>

²⁴ Voir <https://tools.ietf.org/html/rfc7668>

²⁵ Voir <https://www.ulealliance.org>

²⁶ Voir <https://tools.ietf.org/html/rfc8105>

²⁷ Norme ANSI 135-2016, BACNET, protocole de communication de données pour automatiser et créer des réseaux de contrôle

²⁸ Voir <https://tools.ietf.org/html/rfc8163>

²⁹ Voir <https://www.iso.org/standard/56692.html>

³⁰ Voir <https://datatracker.ietf.org/doc/draft-ietf-6lo-nfc/>

³¹ Voir <https://standards.ieee.org/standard/1901-2010.html>

³² Voir <https://tools.ietf.org/html/draft-ietf-6lo-plc-01>

³³ Voir <https://tools.ietf.org/html/rfc3095>

³⁴ Voir <https://tools.ietf.org/html/rfc6282>

³⁵ Voir <https://tools.ietf.org/html/rfc7400>

³⁶ Voir <https://tools.ietf.org/html/rfc4944>

³⁷ Voir <https://tools.ietf.org/html/rfc6775>

³⁸ Voir <https://tools.ietf.org/html/rfc6550>

³⁹ Voir <https://datatracker.ietf.org/doc/draft-ietf-6lo-use-cases/>

7.4 Discussion : comment prendre en compte les applications sensibles à la latence dans le TCP/IP ?

L'Institut des ingénieurs électriques et électroniques (IEEE) définit les extensions de mise en réseau sensibles au facteur temps (TSN, « *Time Sensitive Networking* »)⁴⁰ dans la norme IEEE 802.141 . L'IETF, en collaboration avec l'IEEE 802.1, a créé le groupe de travail de mise en réseau déterministe (DETNET, « *Deterministic Networking* »). La charte de ce groupe de travail consiste à travailler sur des « acheminements des données qui soient déterministes et qui fonctionnent sur des segments passant par la couche 2 et routés par la couche 3, où cet acheminement peut fournir des limites sur la latence, la perte et la variation du délai de paquets (instabilité) et une haute fiabilité ».

Un autre aspect du travail de l'IETF dans ce domaine est le protocole de transport QUIC⁴² qui permet, entre autres, le multiplexage de flux et l'établissement de connexions à faible latence.

7.5 Position de l'ICANN

Les réseaux verticaux spécifiques utilisant des réseaux 5G privés ou des tranches de réseau de réseaux 5G publics ne sont qu'un cas particulier de réseaux propriétaires. Au sein des réseaux privés, les utilisateurs sont libres d'exploiter des technologies spécifiques non IP sans aucun impact sur l'Internet mondial.

L'ICANN note que l'IETF a déjà accompli un travail important pour faire fonctionner l'IP dans des environnements contraints, tels que les dispositifs alimentés par batterie ou les réseaux à très faible consommation/à bande passante très faible dans les groupes de travail 6lowpan et 6lo, ainsi que pour prendre en charge les applications sensibles à la latence dans le groupe de travail DETNET en collaboration avec le groupe de mise en réseau sensible au facteur temps de l'IEEE. Un autre exemple de l'implication de l'IETF dans l'environnement sensible à la latence est le protocole de transport QUIC qui permet, entre autres, le multiplexage de flux et l'établissement de connexions à faible latence.

⁴⁰ Voir <https://1.ieee802.org/tsn/>

⁴¹ Voir <https://1.ieee802.org>

⁴² Voir <https://datatracker.ietf.org/doc/draft-ietf-quic-transport/>