

Principes de fonctionnement de la 5G

Tous connectés ?

Prof. Van Droogenbroeck

Principes de fonctionnement de la 5G

- 1 Introduction
- 2 Technologie
- 3 La composante radio
- 4 5G pour l'Internet des objets (IoT)
- 5 Autres aspects

Table des matières

- 1 Introduction
- 2 Technologie
- 3 La composante radio
- 4 5G pour l'Internet des objets (IoT)
- 5 Autres aspects

Historique

Principales technologies mobiles numériques :

- 2G : tout a commencé avec le **GSM = Global System for Mobile communications** ; passer des appels et envoyer des SMS.
- 2.5G : systèmes comprenant un système de commutation par paquets (en plus de la commutation “circuit” utilisée pour la téléphonie).
- 3G : lancement de l'Internet mobile. **UMTS** (norme mondiale) + 2 évolutions majeures :
 - ▶ HSPA (*High Speed Packet Access*) et
 - ▶ HSPA+
- 4G : pour l'Internet mobile à vitesse plus élevée et la voix sur 4G (VoLTE).
- 5G : débits plus importants, latence réduite, plus de fiabilité et plus d'équipements.

Design de la 5G

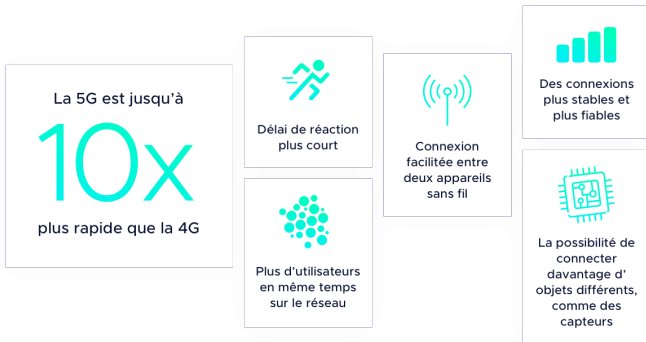
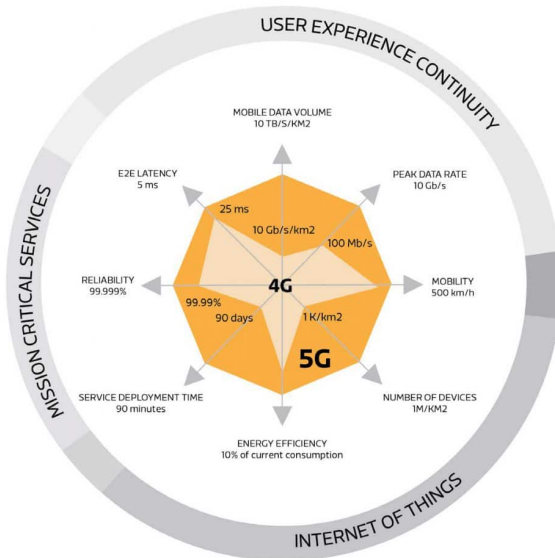


Figure – Objectifs techniques de la 5G.

De la 4G à la 5G : une évolution majeure



Contours de la 5G suivant l'ITU

Contours technologiques de la 5G :

① **Connexions mobiles rapides**

- ▶ Débit maximal de 10 Gb/seconde mais débit 100 Mb/seconde par utilisateur en trajet descendant.

② **Nette réduction de la latence**

- ▶ Délai de réponse réduit jusqu'à 1 ms pour des applications spécifiques.

③ **Plus grand nombre d'objets connectés et de capteurs (IoT)**

- ▶ Jusqu'à 1 million d'appareils par km² (Bruxelles : 7.511 habitants par km² ...).
- ▶ Jusqu'à 10 ans de durée de vie de la batterie pour les appareils Internet des objets à faible consommation.

④ **Couverture du réseau : 100 % de couverture et 99,999 % de disponibilité (= moins de 5 min d'indisponibilité par an).**

Applications visées

- ▶ En fonction des caractéristiques techniques
 - ▶ Débit :
 - ★ Divertissement et réalité augmentée/virtuelle
 - ★ Télétravail
 - ▶ Latence faible :
 - ★ les jeux interactifs
 - ▶ Fiabilité, latence :
 - ★ Conduite autonome
 - ★ Villes intelligentes
- ▶ Internet des objets (IoT)
 - ▶ Agriculture
 - ▶ Télé-médecine
 - ▶ Réseaux électriques intelligents
 - ▶ Smart Home
 - ▶ Entreprise : une automatisation sans fil sera possible dans les chaînes d'assemblage

Autre classification des applications :

- ▶ Cloud computing
- ▶ Edge computing

Table des matières

- 1 Introduction
- 2 Technologie**
- 3 La composante radio
- 4 5G pour l'Internet des objets (IoT)
- 5 Autres aspects

4G - "Releases" (cf. <http://www.3gpp.org>)

Release 17 (mars 2022)



Release 17

- NR MIMO
- NR Sidelink enh.
- 52.6 - 71 GHz with existing waveform
- Dynamic Spectrum Sharing (DSS) enh.
- Industrial IoT / URLLC enh.
- IoT over Non Terrestrial Networks (NTN)
- NR over Non Terrestrial Networks (NTN)
- NR Positioning enh.
- Low complexity NR devices
- Power saving
- NR Coverage enh.
- NR eXtended Reality (XR)
- NB-IoT and LTE-MTC enh.
- 5G Multicast broadcast
- Multi-Radio DCCA enh.
- Multi SIM
- Integrated Access and Backhaul (IAB) enh.
- NR Sidelink relay
- RAN Slicing
- Enh. for small data
- SON / Minimization of drive tests (MDT) enh.
- NR Quality of Experience
- eNB architecture evolution, LTE C-plane / U-plane split
- Satellite components in the 5G architecture
- Non-Public Networks enh.
- Network Automation for 5G - phase 2
- Edge Computing in 5G
- Proximity based Services in 5G
- Network Slicing Phase 2
- Enh. V2x Services
- Advanced Interactive Services
- Access Traffic Steering, Switch and Splitting support in the 5G system architecture
- Unmanned Aerial Systems
- 5G Location Services
- Multimedia Priority Service (MPS)
- 5G Wireless and Wireline Convergence
- 5G LAN-type services
- User Plane Function (UPF) enh. for control and 5G Service Based Architecture (SBA)

These are the Rel-17 headline features, prioritized during the December 2019 Plenaries (TSG#86)

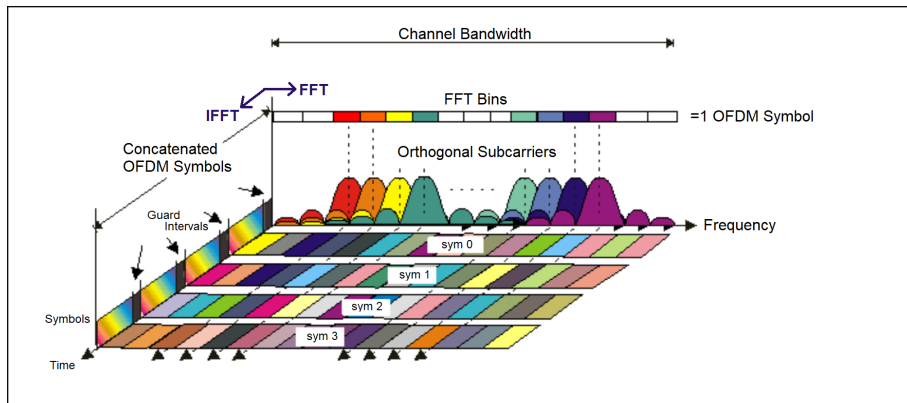
Release 18 (décembre 2023)

Spécifications techniques de la 5G : feuille de route

- ▶ Jusqu'à 10 Gbit/s de débit de données en pointe (de 10 à 100 fois plus que les réseaux 4G et 4.5G)
- ▶ Une milliseconde de latence
- ▶ Jusqu'à 100 fois plus d'appareils connectés par unité de surface (par rapport à la 4G LTE)
- ▶ 100 % de couverture du réseau
- ▶ 99,999 % de disponibilité du réseau
- ▶ 90 % de réduction en utilisation d'énergie du réseau
- ▶ Jusqu'à 10 ans de durée de vie de la batterie pour les appareils Internet des objets (IoT) à faible-consommation

Modulation OFDM

Tout comme pour le 4G et la transmission par courants porteurs !



Frequency-Time Representative of an OFDM signal

Caractéristiques de terminaux mobiles

Nouvelles catégories de terminaux 5G (3GPP rel.15) ¹⁰⁷ , ETSI F5G (rel.1.1.1) ¹⁰⁸										
Catégorie LTE		18	19	20	21	22	23	24	25	26
Débit crête (Mbit/s)	Descendant	1 174	1 566	1 948	1 348	2 349	2 695	2 936	3 132	3 422
	Montant	211	13 563	316	301	422	527	633	738	844
Caractéristiques fonctionnelles minimales										
Largeur de la bande de fréquence de chaque porteuse		1,4 à 20 MHz								
Nombre de porteuses radio agrégées dans le sens descendant		2, 4, 8			2, 4		2, 4, 8			
Nombre de porteuses radio agrégées dans le sens montant		2, 3 ou +								
Modulations sur chaque sous-porteuse	Descendante	64QAM, 256QAM		64QAM, 256QAM, 1024QAM	64QAM, 256QAM	64QAM, 256QAM, 1024QAM				
	Montante	64QAM, 256QAM			64QAM		64QAM, 256QAM			
Types d'antenne sur la liaison descendante										
MIMO 2x2		Oui								
MIMO 4x4		Oui								
MIMO 8x8		Oui			Non		Oui			

Figure – Catégories de terminaux 5G.

Codage LDPC

Utilisation des codes de type “Low-density parity-check codes” (LDPC codes).

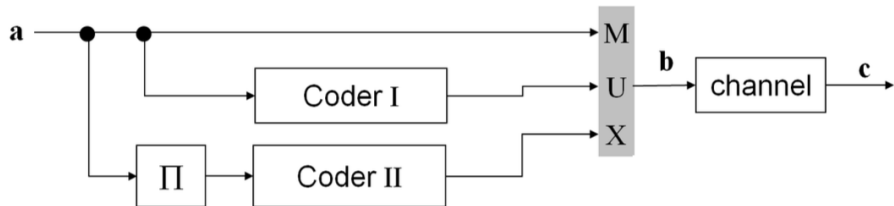


Figure – Schéma de principe. L'encodeur II encode les bits après permutation. Le mot de code **b** est obtenu après entrelacement des données.

Technologie 5G NR : massive MIMO et radio access technology (RAT)

5G NR (New Radio) est une nouvelle technologie d'accès radio (RAT, radio access technology) pour les réseaux mobiles 5G.

Les **deux évolutions principales pour la 5G** des objets connectés au niveau du réseau d'accès Radio Access Network (RAN)

- 1 Usage massif des **antennes MIMO**.
- 2 L'autre point porte sur la **virtualisation du réseau d'accès appelé Radio Access Technology (RAT)**. Il permet de créer un RAN "multi-technologique". Il supporte plusieurs fonctions génériques dont
 - ▶ gestion de réseau,
 - ▶ les *enablers* pour objets connectés de type capteurs,
 - ▶ fonctions pour les applications associées aux véhicules autonomes.

Le Network Function Virtualization (NFV)

L'infrastructure 5G NR est virtuelle et repose sur un cloud de *ressources physiques virtualisées et orchestrées* par le **Network Function Virtualisation Infrastructure (NFV)**.

Grâce au Network Function Virtualization (NFV) :

- ▶ **plus besoin d'hardware dédié** : les fonctions réseaux sont gérées par plusieurs réseaux virtuels ; permet des **économies** pour les fournisseurs d'accès.
- ▶ **capacité de traitement en temps réel des applications 5G-IoT** en optimisant la vitesse, la capacité, la couverture dans les réseaux.

Le NFV s'accompagne du *Software-Defined Networking* (SDN).

Le Software Defined Network (SDN)

Les fonctions logicielles du réseau sont assurées par le Software-Defined Network (SDN). L'objectif est de *rendre possible la gestion des réseaux hétérogènes induits par la diversité des objets connectés*.

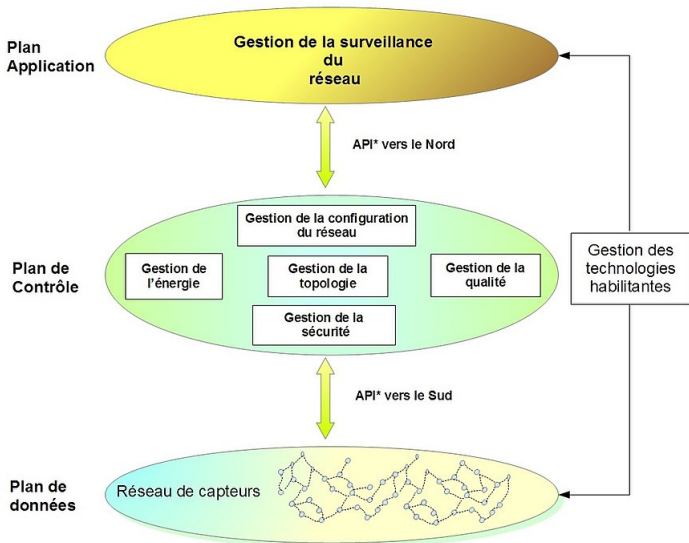
Le Software Defined Network (SDN) est basé sur la séparation

- ▶ du plan de contrôle
- ▶ du plan usager.

Il est complémentaire au Network function virtualization (NFV). Le SDN apporte de profonds changements dans une dizaine de domaines pour les objets connectés :

- ▶ un réseau sans fil défini par logiciel, la virtualisation des fonctions réseau, le spectre des ondes millimétrique redistribué dynamiquement, le MIMO massif, l'ultra-densification du réseau, le cloud, le big data, l'Internet des objets évolutifs, la connectivité entre appareils avec haute mobilité, etc.

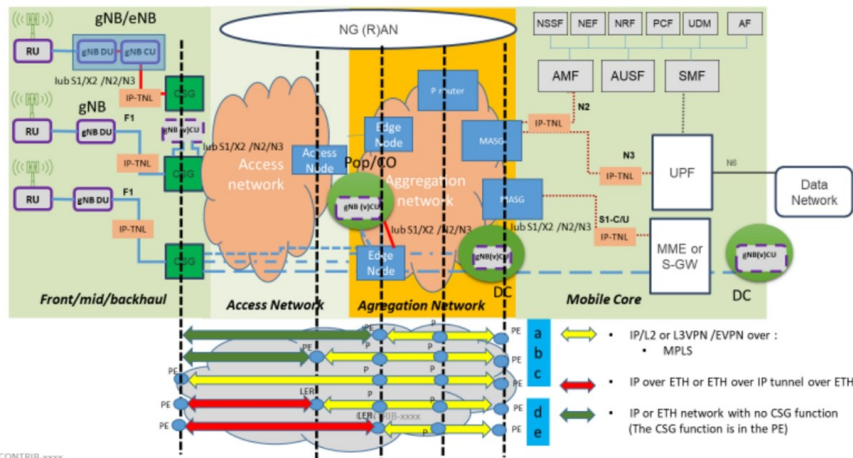
Le Software Defined networking for Wireless Sensor Networks (SDWSN)



API : Application Programming Interfaces (Interfaces de programmation d'application)

Architecture 4G/5G

4G/5G transport architecture



CONTRIB-xxxxx

Network slicing

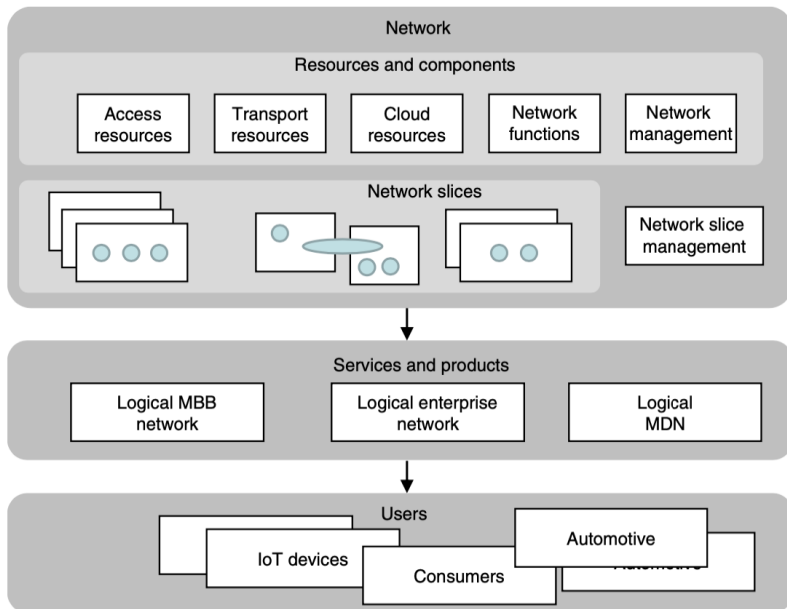


Table des matières

- 1 Introduction
- 2 Technologie
- 3 La composante radio**
- 4 5G pour l'Internet des objets (IoT)
- 5 Autres aspects

Un réseau composé de cellules de différentes tailles

Cell types		Deployment environment	Max. number of users	Output power (mW)	Max. distance from base station
5G NR FR2	Femtocell	Homes, businesses	Home: 4–8 Businesses: 16–32	indoors: 10–100 outdoors: 200–1,000	tens of meters
	Pico cell	Public areas like shopping malls, airports, train stations, skyscrapers	64 to 128	indoors: 100–250 outdoors: 1,000–5,000	tens of meters
	Micro cell	Urban areas to fill coverage gaps	128 to 256	outdoors: 5,000–10,000	few hundreds of meters
	Metro cell	Urban areas to provide additional capacity	more than 250	outdoors: 10,000–20,000	hundreds of meters
Wi-Fi (for comparison)		Homes, businesses	fewer than 50	indoors: 20–100 outdoors: 200–1,000	few tens of meters

Figure – Types de cellules 5G.

Les bandes de fréquence de la 5G

La 5G pourra à terme être utilisée dans les mêmes bandes de fréquences que celles utilisées pour les réseaux 3G et 4G existants.

Conformément au principe de neutralité technologique (imposé par les directives européennes), les opérateurs qui ont reçu des droits d'utilisation dans une bande de fréquences donnée sont libres de décider quelle technologie (2G, 3G, 4G ou 5G) ils utilisent dans la bande concernée.

L'Europe a défini 3 “bandes pionnières” pour la 5G :

- ▶ **La bande 700 MHz** : grande couverture, convient pour l'Internet des objets, débits faibles.
- ▶ **La bande 3600 MHz** : la largeur de bande disponible bien plus importante que la bande 700 MHz.
- ▶ **La bande 26 GHz** : les vitesses les plus élevées, mais peu d'intérêt en Belgique.

En plus, la **bande 1400 MHz** est également proposée pour la 5G. Cette bande offre plus de capacité descendante (SDL).

Licences pour les droits d'utilisation de la 5G

En 2022, la législation ayant été publiée, l'IBPT organise une mise aux enchères multibande pour :

- ▶ Les bandes pour lesquelles les droits d'utilisation 2G et 3G expirent : 900 MHz, 1800 MHz, 2100 MHz.
- ▶ Les nouvelles bandes qui seront utilisées pour la 5G : 700 MHz, 3600 MHz, 1400 MHz.
- ▶ *La mise aux enchères de droits d'utilisation dans la bande 26 GHz n'a pas été planifiée.*

Situation actuelle

Le 14 juillet 2020, l'IBPT a octroyé aux opérateurs Orange, Proximus et Telenet des droits d'utilisation provisoires dans la bande de fréquences 3600-3800 MHz.

En mai 2022, Proximus et Telenet ont activé la 5G dans ce spectre sur un nombre limité de sites.

Tableau récapitulatif des techniques 5G

Génération	Acronyme	Normes 3GPP - ETSI	Fréquences	Débit indicatif (download) en bit/s (théorique/pratique/usuel)
5G	IMT-2020	ETSI TS V15.6.0 (3GPP rel.15) ¹⁰⁷ octobre 2019 ETSI F5G (rel.1.1.1) ¹⁰⁸ décembre 2020	Plusieurs bandes de fréquences deux segments : • 5G <i>sub-6 GHz</i> 700 MHz, 2,1 GHz, 3,5 GHz • 5G <i>mmWave</i> de 24 GHz, (Génération 5G), jusqu'à 100 GHz.	Référence 1-10 Gbit/s 50 Gbit/s ¹¹⁰ (débit théorique annoncé en 2013)

Figure – Les futures générations de réseaux mobile 5G.

Belgique : la mise aux enchères dans le détail

Trois procédures autonomes d'attribution de droits d'utilisation organisées par l'IBPT en 2022.

- ❶ La première procédure concerne l'attribution :
 - ▶ du spectre 2G et 3G existant, soit 35 MHz duplex dans la bande 900 MHz, 75 MHz duplex dans la bande 1800 MHz et 60 MHz duplex dans la bande 2100 MHz, pour une période de 20 ans à l'issue de la période de validité des autorisations 2G et 3G existantes
 - ▶ de 30 MHz duplex dans la bande 700 MHz pour une période de 20 ans.
- ❷ La deuxième porte sur l'attribution de 390 MHz dans la bande 3600 MHz pour la période jusqu'au 6 mai 2040.
- ❸ La troisième organise l'attribution de 90 MHz dans la bande 1400 MHz pour une période de 20 ans.

Normes de rayonnement

Etude de l'IBPT à la demande de la région Bruxelles-Capitale :

- ▶ “La suppression progressive attendue des technologies 2G et 3G à partir de 2020 ne permettra pas de fournir une solution pour le déploiement de la 5G dans la Région de Bruxelles-Capitale sans une adaptation des normes de rayonnement actuelles.”
- ▶ “Sans l'adaptation des normes, l'augmentation attendue du trafic de données ne sera pas possible,”

Recommandation de l'IBPT

- ▶ Spécifiquement pour la Région de Bruxelles-Capitale, l'IBPT déconseille vivement une **limite cumulative** inférieure à **14,5 V/m** pour une fréquence de 900 MHz, ...C'est pourquoi l'IBPT propose d'adopter la norme supérieure à 14,5 V/m et **jusqu'à 41,5 V/m**. Cela nous permettra de faire partie de la tête du peloton européen en matière de déploiement de réseaux 5G.

Interférences

Météorologie En avril et novembre 2019, deux articles de la revue Nature émettent l'hypothèse que certaines fréquences utilisées en 5G pourraient entrer en conflit dans la bande millimétrique des 26 GHz avec l'observation de la vapeur d'eau et réduire la précision des relevés météorologiques.

Aviation. Préoccupations aux Etats-Unis.

Table des matières

- 1 Introduction
- 2 Technologie
- 3 La composante radio
- 4 5G pour l'Internet des objets (IoT)**
- 5 Autres aspects

L'Internet des objets (IoT)

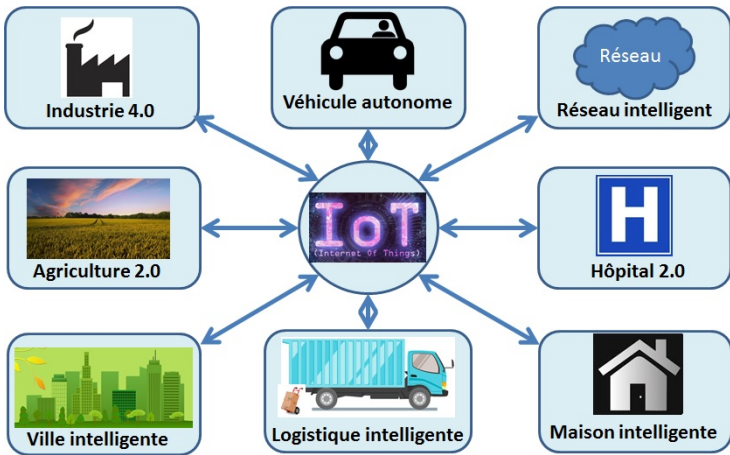


Figure – Diversité de l'IoT, grâce à la *virtualisation* du réseau.

Défis de l'IoT

- ▶ la capacité du réseau à **supporter le nombre croissant d'objets connectés** qui pourrait atteindre 100 milliards en 2030.
- ▶ la **sécurité** du réseau.
- ▶ la **disponibilité** et la **qualité** du réseau
- ▶ la **couverture** ou l'étendue du réseau
- ▶ **l'autonomie** des batteries des objets connectés

Variantes de l'IoT

► L'IoT haut débit.

L'Internet des objets (IoT) haut débit concerne les équipements qui ont besoin d'un **débit important** pour leurs usages. Dans certains cas, une latence faible est aussi nécessaire pour son bon fonctionnement.

Exemple d'utilisation de l'IoT haut débit : applications de surveillance par images et vidéos

► L'IoT critique.

L'Internet des objets (IoT) critique concerne les équipements qui ont besoin de **transmettre des informations en temps réel**.

La 5G répond aux exigences de l'IoT critique, avec des temps de latence prévus de 1ms, contre 15ms pour la technologie LTE.

Exemple d'IoT critique : communications entre véhicules, la prise en charge de patients par capteurs médicaux.

Normes

Les acteurs principaux sont :

- ▶ l'Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)
- ▶ le 3rd Generation Partnership Project (3GPP)
- ▶ l'Union internationale des télécommunications (UIT)
- ▶ l'Internet Engineering Task Force (IETF)

Nouvelles technologies pour l'IoT : LTE-M ou NB-IoT

Avec l'arrivée de la 5G, **LTE-M** et Narrowband **IoT** (**NB-IoT**) s'ajoutent à l'offre existante. Les opérateurs de télécommunications sont partagés :

- ▶ **NB-IoT** requiert une bande passante de seulement 180 kHz et peut donc utiliser un canal GSM (200 kHz). Une intégration dans un canal LTE est également possible. Elle est adaptée pour des parcs de capteurs fixes n'utilisant qu'un faible volume de données.

Applications : la télémétrie pour les compteurs d'eau ou électriques connectés ainsi que l'agriculture 2.0.

- ▶ La technologie **LTE-M** est compatible avec les réseaux de téléphonie mobile existants et ne nécessite pas l'achat de nouveaux modems compatibles comme pour le NB-IoT. LTE-M propose un taux de transfert de données plus rapide que NB-IoT (384 kb/s contre 100 kb/s). Ce critère est important pour les solutions devant transporter de la vidéo (vidéosurveillance). LTE-M, contrairement à NB-IoT, propose les échanges voix et sait gérer la mobilité des objets.

Applications : véhicules autonomes, télé-travail, et plus généralement pour les objets connectés en mouvement.

Sécurité et confidentialité

Evaluation des risques :

- ▶ Les *objets connectés* sont placés dans des lieux publics ou isolés et sont donc **vulnérables** car ils sont facilement accessibles physiquement, l'un des risques étant une intrusion et usurpation d'identité, une écoute passive ou active sur le réseau des objets.
- ▶ Il y a aussi un **risque de disponibilité**. En effet les capteurs utilisent des réseaux sans fil pour véhiculer les données collectées. Il convient donc de se prémunir d'attaques éventuelles.
- ▶ **35 types de cyberattaques** ont été identifiés comme des **menaces majeures à la vie privée dans le réseau 5G**.
- ▶ Des services de sécurité tels que la confidentialité, l'authentification et la distribution de clés sont à implémenter, surtout pour des solutions "tout software" (*cartes SIM dématérialisées* par exemple).

Problème

Comme la 5G repose sur l'IP, le réseau est vulnérable à toute forme d'attaque IP.

Difficultés techniques pour l'IoT par la 5G

- ▶ **Gestion de la configuration du système** (auto-configuration, s'adapter à une reconfiguration du réseau)
- ▶ **Surveillance du système** (gérer en temps réel les caractéristiques des capteurs [état, position], connaître la topologie, gérer les alarmes)
- ▶ **Maintenance** des objets connectés (détection des défaillances, mise à jour)
- ▶ **Performance** des objets connectés (monitoring)
- ▶ **Efficacité énergétique** (gestion de la consommation, durée de vie)
- ▶ **Sécuriser les accès et la vie privée** (authentification, éviter les fuites, confidentialité)

Table des matières

- 1 Introduction
- 2 Technologie
- 3 La composante radio
- 4 5G pour l'Internet des objets (IoT)
- 5 Autres aspects**

Aspects environnementaux et énergie

- ▶ DEquipement *réseau* 5G :
 - ▶ l'équipement utilisé par le réseau 5G consomme jusqu'à 90 % d'énergie en moins par bit envoyé que les appareils actuels du réseau 4G.
- ▶ Equipement *abonnés* 5G :
 - ▶ Déchets électroniques :
 - ★ les terminaux utilisateurs (ordinateurs portables, téléphones, écrans, téléviseurs, imprimantes, etc.) sont ceux qui ont le plus d'impact, entre 54% et 90% (recours à des ressources naturelles souvent peu renouvelables ou peu recyclées).
 - ▶ Consommation des données accrue :
 - ★ On s'attend ainsi à ce que plus de 12 milliards d'appareils mobiles soient connectés à l'Internet des Objets d'ici 2025.
Selon une étude commandée par l'IBPT, la consommation de données en Belgique va augmenter d'un facteur 40 d'ici 2040.

Vie privée et sécurité

Les institutions

Le 29 janvier 2020, la Commission européenne et la présidence du Conseil de l'Union européenne ont présenté une approche européenne concertée sur la sécurité des réseaux de télécommunications 5G européens.

- ▶ Réponse des institutions : **une boîte à outils 5G** a été adoptée au niveau européen. Celle-ci couvre tous les risques identifiés à la suite d'une évaluation coordonnée au niveau de l'UE et comprend des mesures techniques et stratégiques ainsi que des actions associées pour garantir la sécurité.

Pour l'informaticien(ne)/ingénieur(e) :

- ▶ nombreuses difficultés suite à la **flexibilité des réseaux** et la **présence d'objets IoT à faible consommation**.

Principales préoccupations

- ▶ Réchauffement climatique
- ▶ Vie privée et sécurité (localisation aisée grâce au *timing advance* et antennes *MIMO*)
- ▶ Aspects sanitaires (effets sur la santé) :
 - ▶ Exposition accrue
 - ▶ Utilisation de fréquences plus élevées
 - ▶ Concentration des ondes
- ▶ Absence de contrôle démocratique quant à son déploiement et à ses objectifs
 - ▶ vers des opérateurs omnipotents ?
 - ▶ vers une surveillance à très grande échelle ?