تخطيط شبكات الجيل القادم (5G+/6G):
استراتيجيات ذكية لتحسين الأداء وتخفيض التكاليف

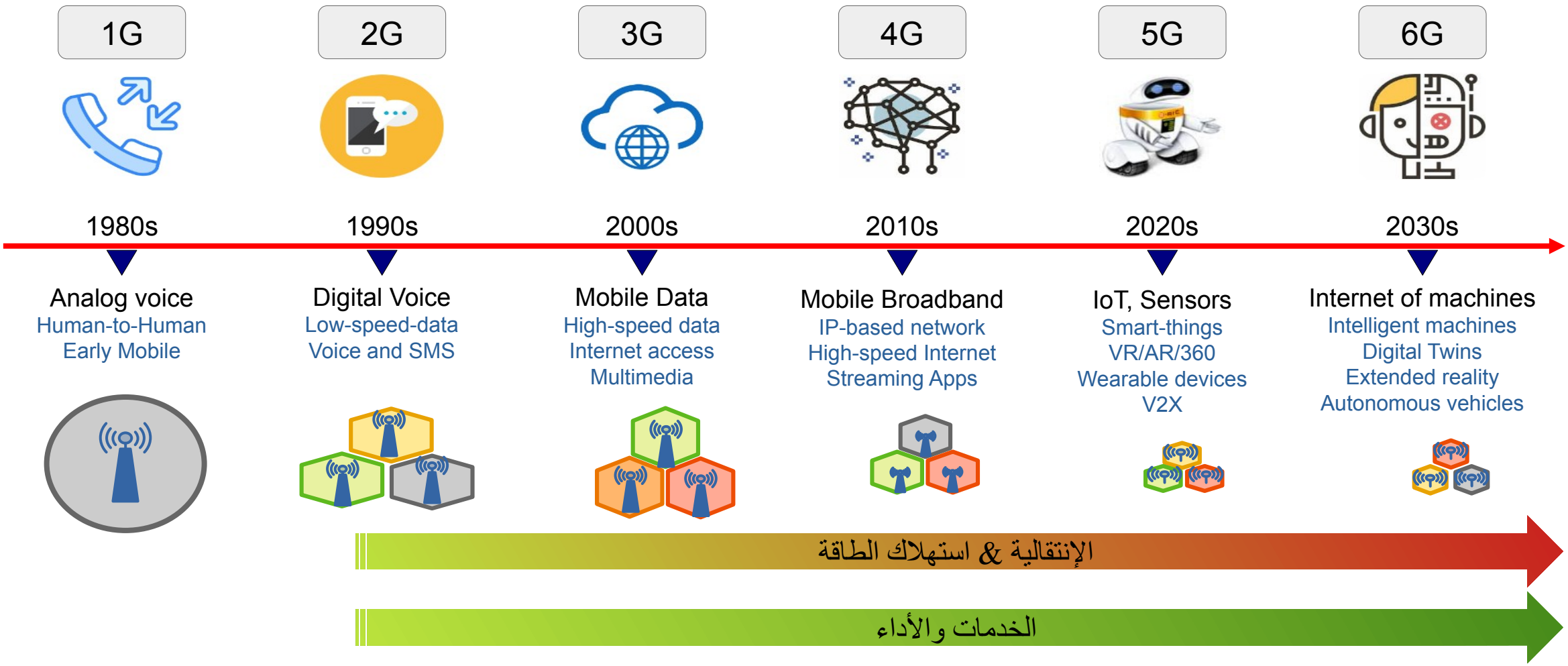
د. بشير أمين رضوان

مشاركة مفتاحية مقدمة من شركة يمن موبايل للهاتف النقال ضمن فعاليات
المعرض والمنتدى التقني الأول Smart-EX
10 - 13 أغسطس 2025، صنعاء – الجمهورية اليمنية

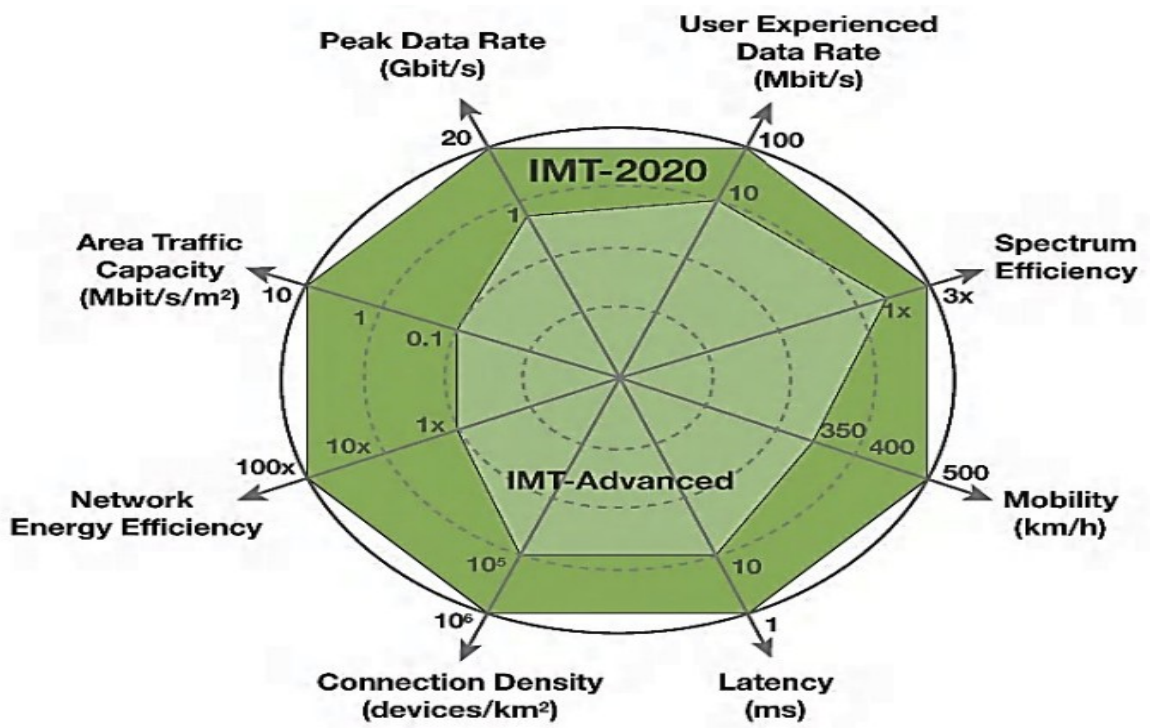
المحتويات

- مقدمة
- مؤشرات الأداء وحساب التكاليف
- مثلث التحديات
- نموذج GSMA لتقييم التكاليف والمحسنات
- استراتيجيات تخفيض التكاليف
- تحديد الأولويات
- التحديات المستقبلية واعتبارات 6G
- الخلاصة: ركائز التخطيط الاستراتيجي لخفض التكاليف
- التوصيات

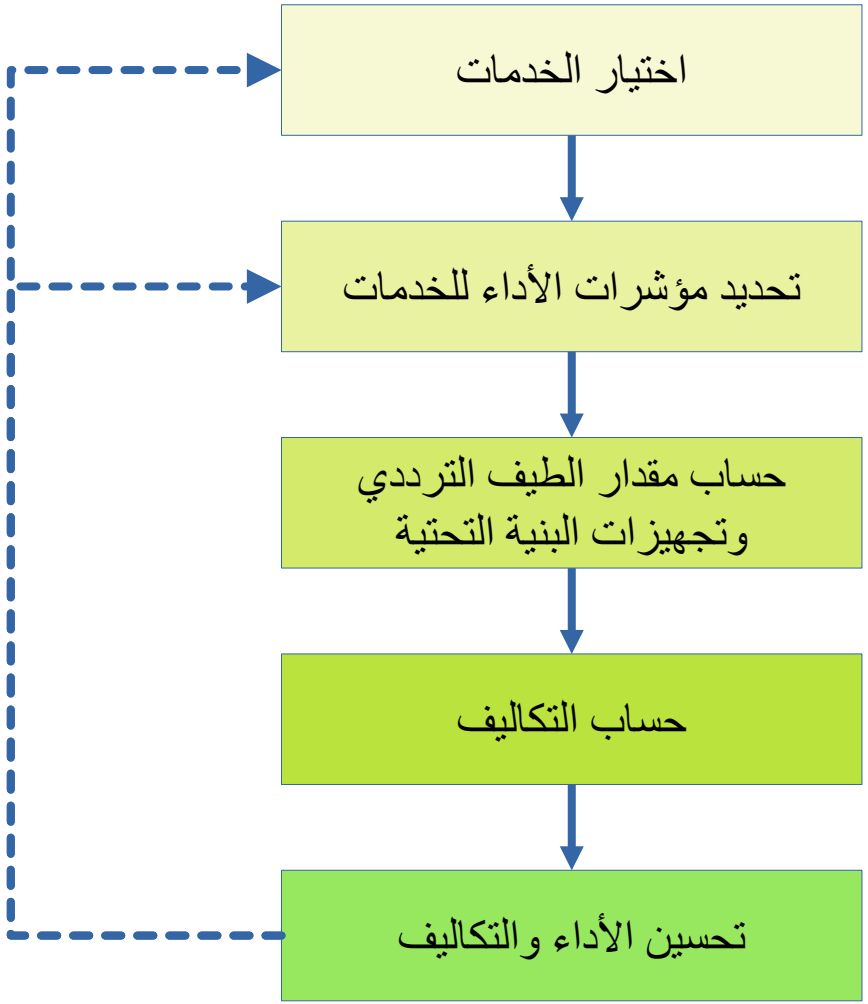
مقدمة


1G
2G
3G
4G
5G
6G
1980s
1990s
2000s
2010s
2020s
2030s
Analog voice
Human-to-Human
Early Mobile
Digital Voice
Low-speed-data
Voice and SMS
Mobile Data
High-speed data
Internet access
Multimedia
Mobile Broadband
IP-based network
High-speed Internet
Streaming Apps
IoT, Sensors
Smart-things
VR/AR/360
Wearable devices
V2X
Internet of machines
Intelligent machines
Digital Twins
Extended reality
Autonomous vehicles
الإنتقالية & استهلاك الطاقة
الخدمات والأداء

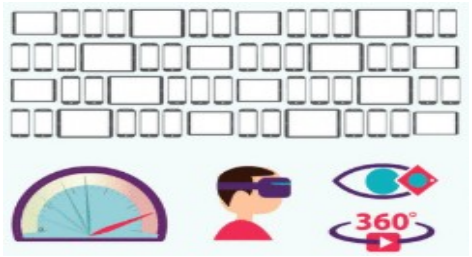
موشرات قياس الأداء (4G vs. 5G)



Source: ITU



تصنيف مؤشرات الأداء حسب الأهمية



eMBB

سرعة نقل بيانات

أهمية عالية

تجربة المستخدم
(سرعة نقل بيانات)

متوسط

منخفض

سعة الحركة في
المساحة الجغرافية

كفاءة الطيف الترددي

كفاءة استهلاك الطاقة

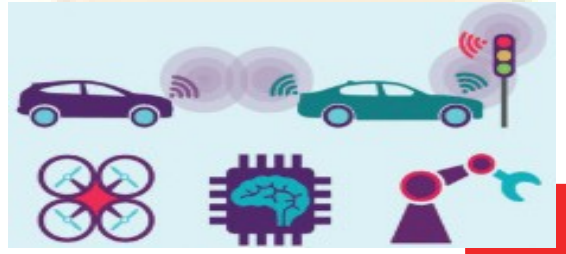
الإنتقالية

mMTC

URLLC

كثافة الاتصال

معدل زمن الوصول

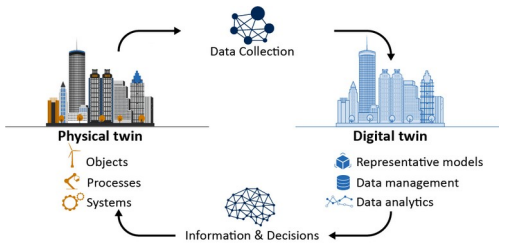


Source: ITU

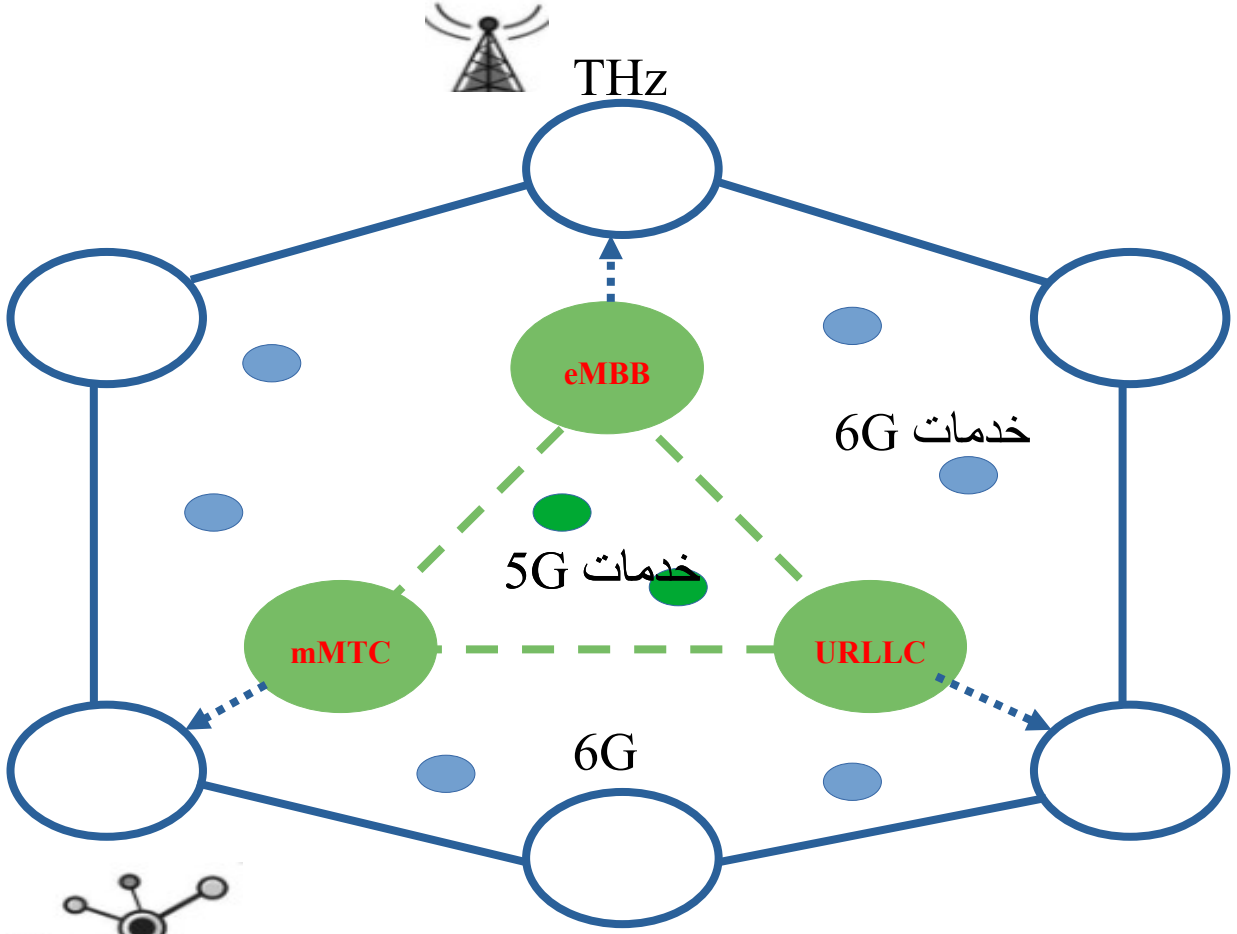
خدمات 5G+/6G

مؤشرات أداء صارمة + خدمات ذكية = زيادة التكاليف الرأسمالية والتشغيلية

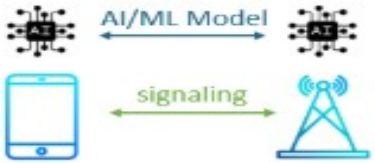
التغطية الشاملة
IoT/IoV/UAV



التوأمة الرقمية & استشعار عن بعد



الاتصال الحسي الشامل (بشري وآلات)



الذكاء الاصطناعي خدمة أساسية

الواقع الممتد اللامركزي

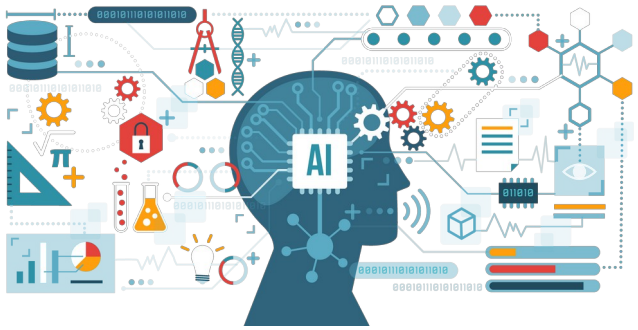
مثلث التحديات المحورية في عصر 5G+/6G

الأداء

- سرعة فائقة
- زمن أقل
- استهلاك الطاقة
- اتصال بين الآلات
- الانتقالية
- ...

التعقيد

- كثافة نشر المحطات والتقنيات الافتراضية
- إدارة تداخل الترددات
- الربط البيني بين الأنظمة وتعدد المزودين
- فصل الخدمات وإدارتها وأتمتتها
- الذكاء الاصطناعي والأتمتة المتقدمة
- ...



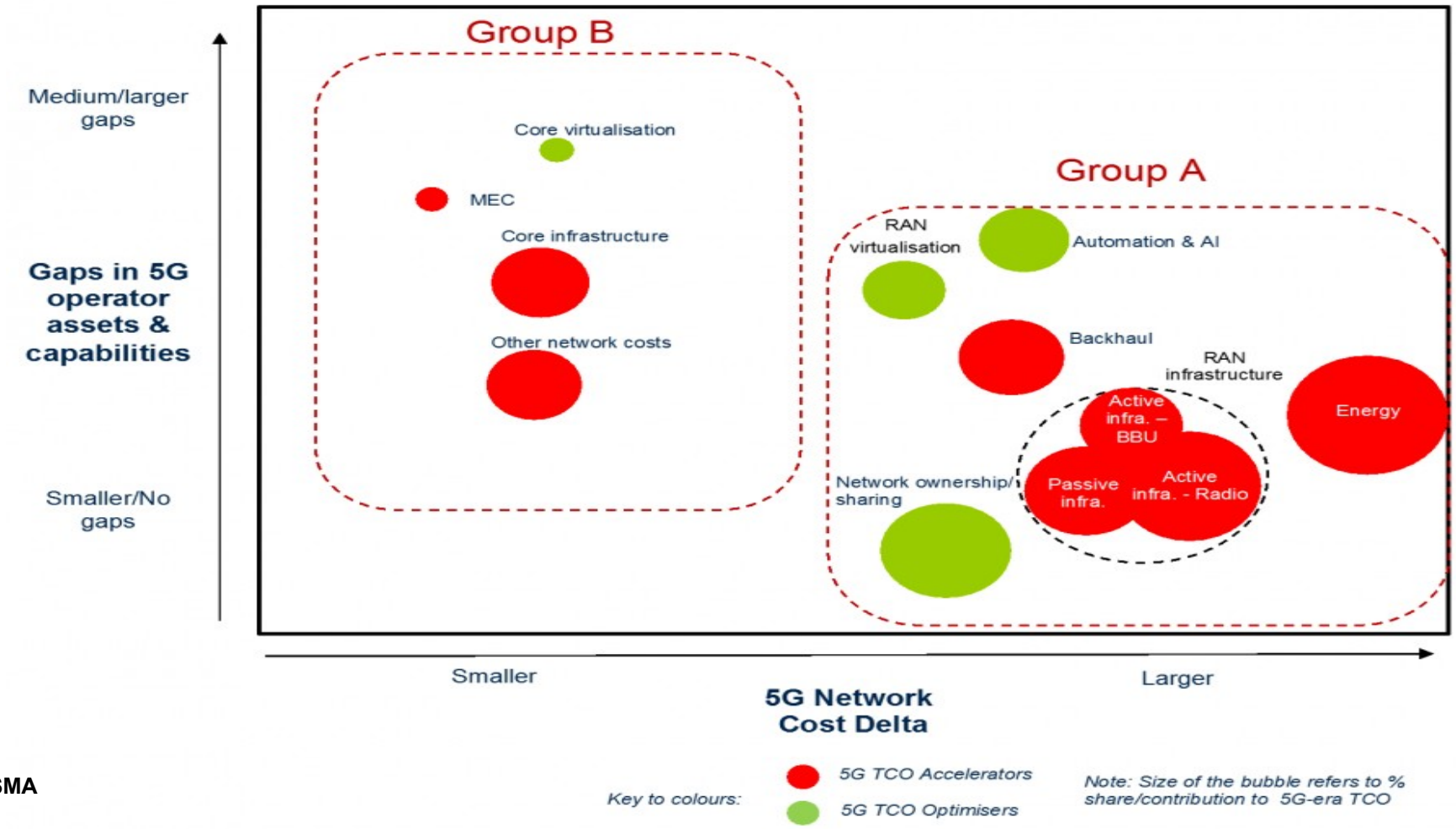
التكاليف

- تكاليف رأسمالية
  - طيف ترددي، بنية تحتية، ...
- تكاليف تشغيلية
  - طاقة، صيانة، أتمتة ...

سؤال جوهري: كيف نبني شبكات المستقبل دون انفجار التكاليف؟

نموذج GSMA لتقييم التكاليف والمحسنات

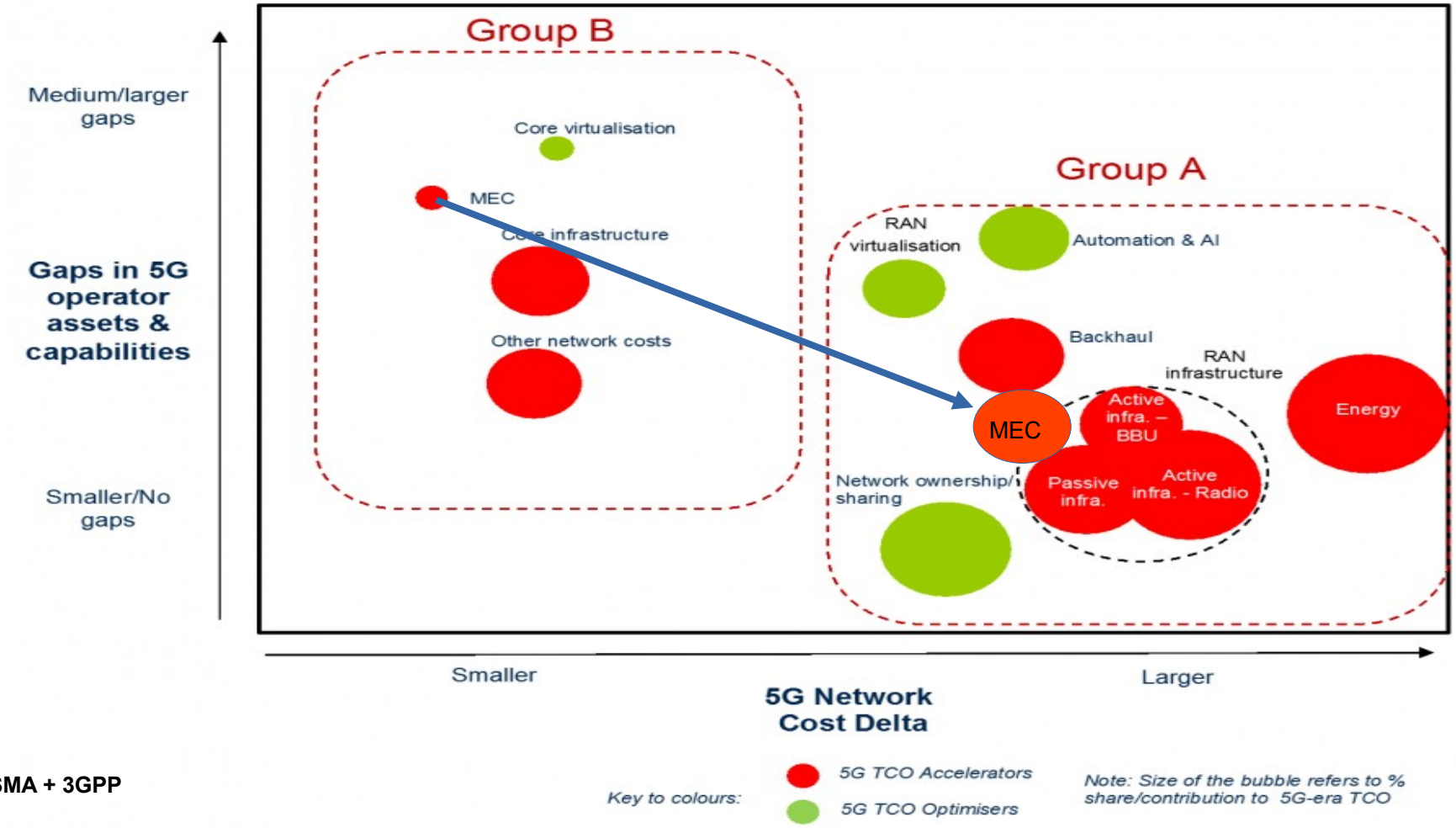
تقييم وتحسين تكاليف الانتقال إلى شبكات 5G



Source: GSMA

نموذج GSMA لتقييم التكاليف والمحسنات (مُعدل)

نقل تكاليف الحافة إلى شبكة الراديو وفق تصميم 3GPP لتلبية احتياجات خدمات 5G+/6G



3GPP TS 23.548: MEC is part of 5G-RAN (2022)

Source: GSMA + 3GPP

استراتيجيات تخفيض التكاليف لتقديم خدمات 5G+/6G

أولاً: التحول إلى بنية مفتوحة ومرنة

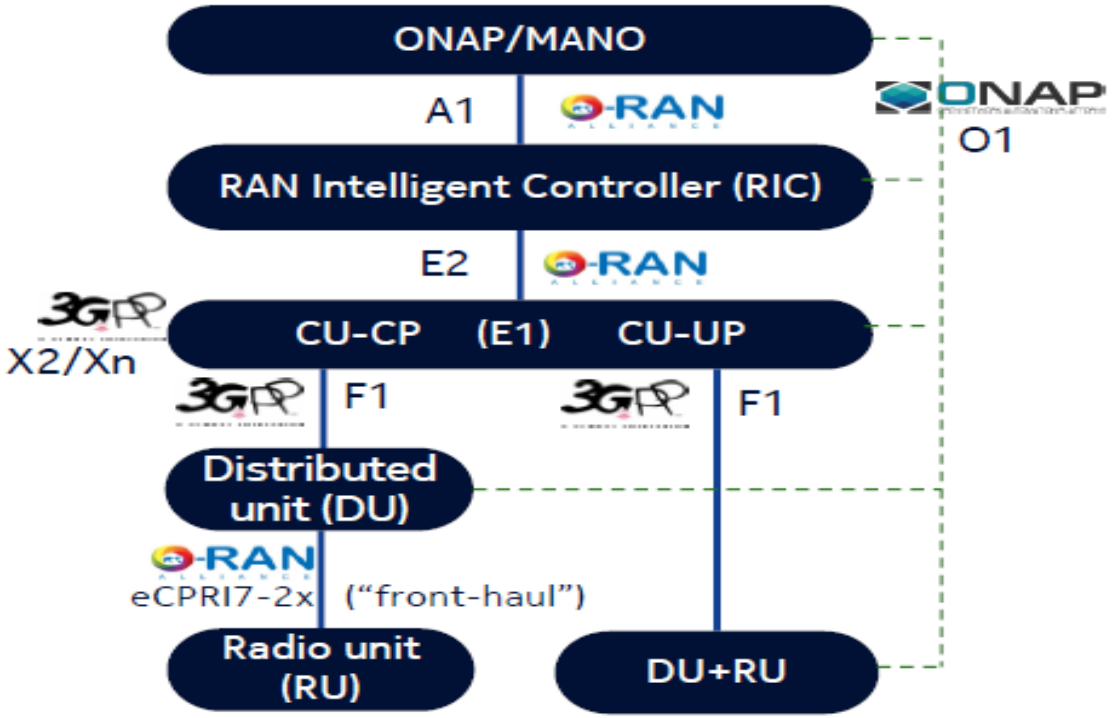
ثانياً: الذكاء الاصطناعي والأتمتة المتقدمة

ثالثاً: التشارك في البنية التحتية للشبكة

رابعاً: استدامة الطاقة كمدخل مالي

أولاً: التحول إلى بنية مفتوحة ومرنة

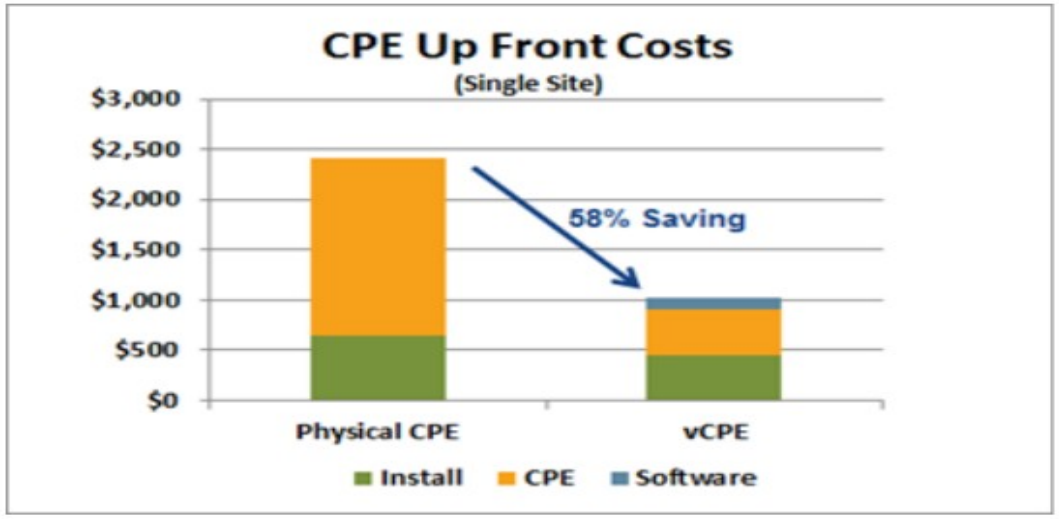
- **التحول إلى استخدام البيئات الافتراضية والحوسبة السحابية.**
- **أمثلة عملية:**
  - تفكيك الوظائف الشبكية (CP/UP)،
  - استخدام وظائف الشبكة الافتراضية (SDN/NFV/O-RAN/vRAN)،
  - استخدام أجهزة تجارية جاهزة (COTS)،
  - استخدام نظم تشغيل مفتوحة المصدر.
- **توفير التكاليف:**
  - كسر احتكار البائعين،
  - خفض Capex بنسبة 30-50%،
  - خفض Opex بنسبة 50-70%.
- **التحديات:**
  - إدارة التكامل بين الهاردوير والسوفتوير، وبين الأنظمة المفتوحة،
  - الأمن وضمان خلو الهاردوير والسوفتوير المفتوح من الثغرات.

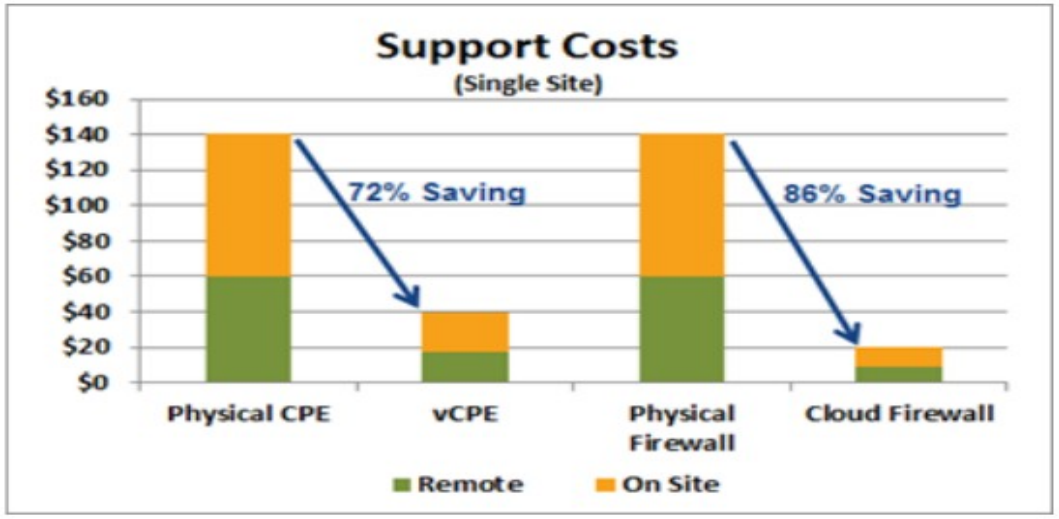


Source: Moniem-Tech

أولاً: التحول إلى بنية مفتوحة ومرنة

- **دراسة حالة مقدمة من شركة جونيبر Juniper:**
  - انخفاض التكاليف باستخدام البيئات الإفتراضية بحوالي **58%** للتكاليف الأولية وحوالي **72%** من التكاليف التشغيلية.

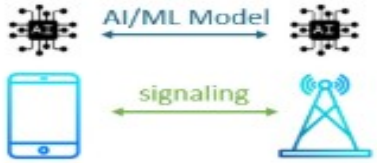


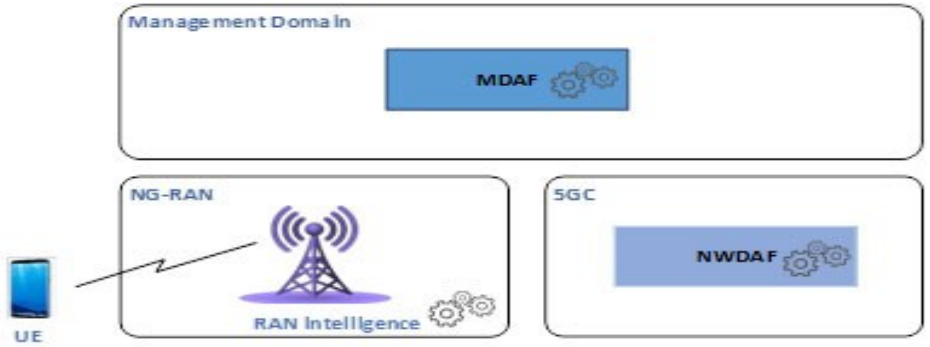


Source: Juniper ACG Research, Business Case for NFV/SDN Programmable Networks, 2014.

ثانياً: الذكاء الاصطناعي والأتمتة المتقدمة

- **استخدام الذكاء الاصطناعي في عمليات الأتمتة**
- **أمثلة عملية:**
  - التنبؤ بالازدحام وتخصيص الموارد الديناميكي (توفير طاقة + سعة).
  - الصيانة التنبؤية: تقليل أعطال المعدات بنسبة 40%.
  - أتمتة إدارة شرائح الشبكة (Network Slicing).
- **توفير التكاليف:**
  - خفض Opex بنسبة 25%+ عبر تقليل التدخل البشري.
- **التحديات:**
  - الحاجة إلى الاستثمار في الذكاء الاصطناعي الموزع،
  - جمع البيانات ومحاذير خصوصية المستخدم،
  - التشغيل البيني بين المزودين.





3GPP Release 18 | 3GPP Release 20

Source: 3GPP

ثالثاً: التشارك في البنية التحتية للشبكة

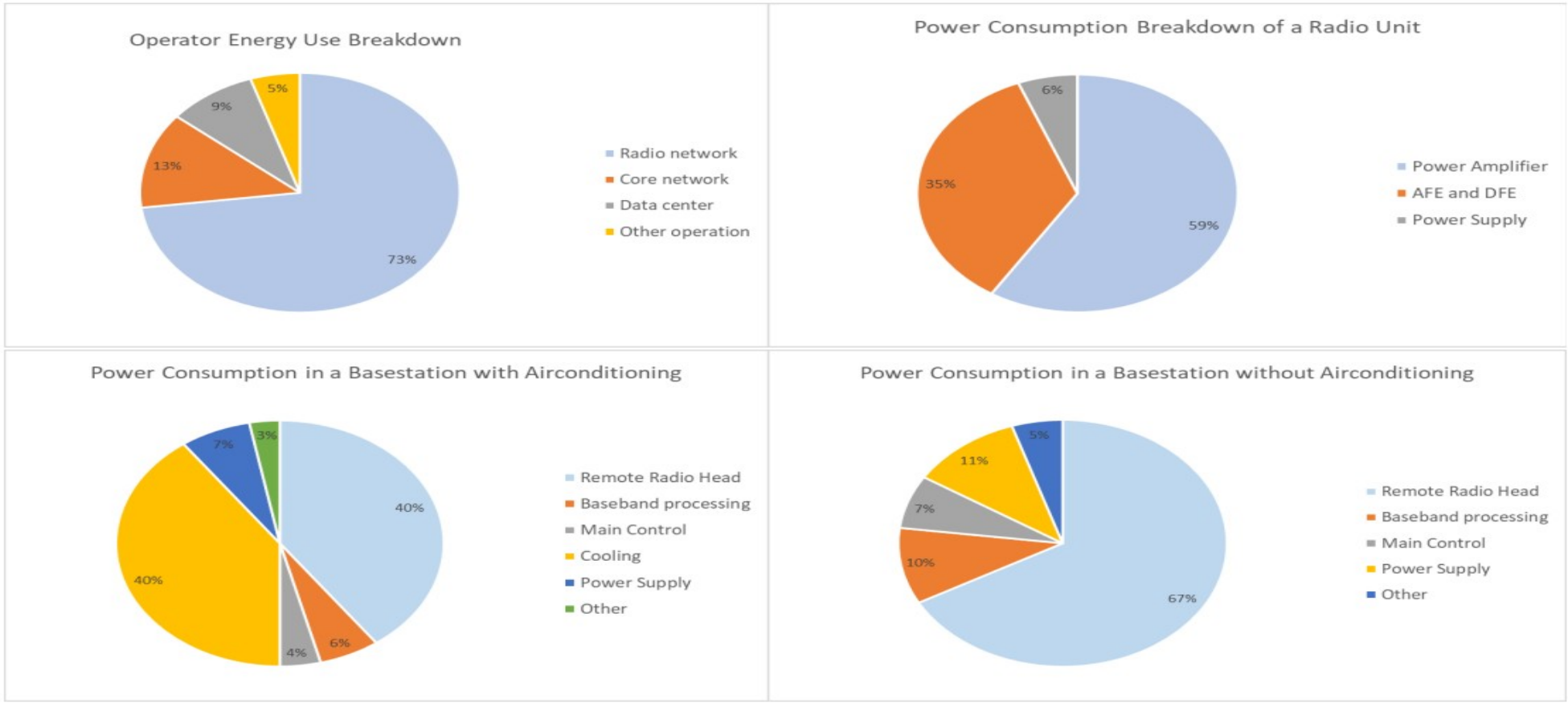
- **التشارك في البنية التحتية وفي تجهيزات الشبكة من أفضل الحلول الاستراتيجية لتقليل التكاليف.**
- **أمثلة عملية:**

  - التشارك في الطيف الترددي،
  - التشارك في مواقع محطات البث،
  - التشارك في الأبراج،
  - التشارك في الطاقة.
- **توفير التكاليف:**
  - خفض Opex بنسبة 40% في حال التشارك في البنية التحتية والطيف الترددي.
- **التحديات:**

  - التشارك في تجهيزات الشبكة يعقد بنية الشبكة وعمليات الصيانة،
  - أمن الشبكة وعزل الشبكات،
  - إدارة التداخل بين الترددات وعمل الفلاتر والعوازل.
  - إدارة التشارك والمقاصة.

رابعاً: استدامة الطاقة كمدخل مالي

- دراسة حالة مقدمة من شركتي Intel وMavenir توضح نسب استهلاك الطاقة
  - وتحتل شبكة الراديو والتبريد صدارة نسب الاستهلاك.

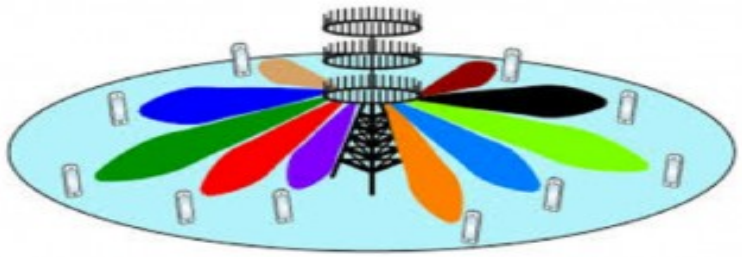


Source: Mavenir and Intel Network Builders, A holistic study of power consumption and energy saving strategies for open vRAN systems, February 2023.

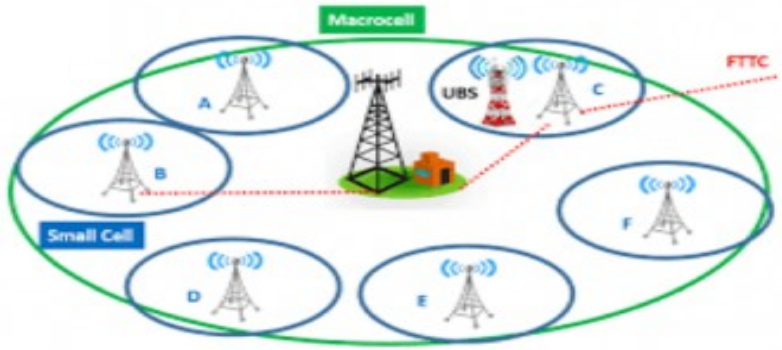
رابعاً: استدامة الطاقة كمدخل مالي

- **تكاليف الطاقة وتجهيزاتها من أعلى التكاليف التشغلية.**
- **أمثلة عملية:**
  - 20-40% من Opex تكاليف طاقة (خاصة مع Massive MIMO).
  - خوارزميات الذكاء الاصطناعي لإدارة الطاقة الديناميكية (Sleep Mode للخلايا).
  - استخدام الطاقة المتجددة في مواقع الشبكة.
  - تبريد مراكز البيانات والحواف بكفاءة.
- **توفير التكاليف:**
  - خفض فواتير الطاقة بنسبة 15-30%.
- **التحديات:**
  - الحاجة إلى الاستثمار في تعلم اللآلة والذكاء الاصطناعي،
  - الموازنة بين الإنتشار الرأسي والانتشار الأفقي.

Massive MIMO



Dense Networks



Source: GSMA

تحليل وتحديد الأولويات

اعطاء الأولوية في عملية تخفيض التكاليف من الأكبر إلى الأصغر:

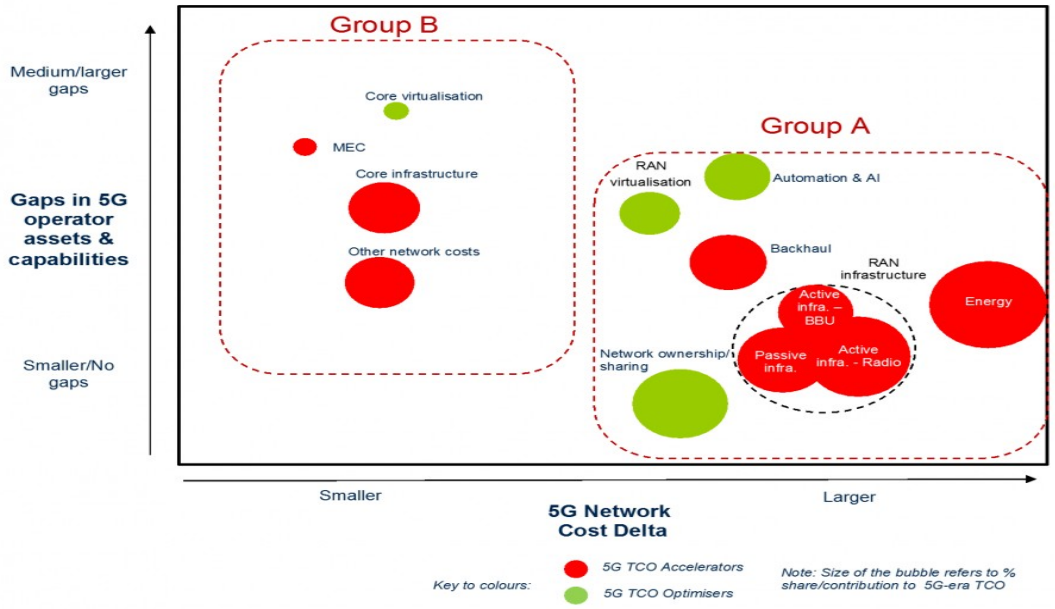
1) إيجاد بدائل مستدامة للطاقة وترشيدها،

2) الموازنة بين الإنتشار الرأسي والأفقي،

3) ادماج O-RAN/vRAN في شبكة الراديو،

4) استخدام SDN في شبكات التراسل،

5) تحسين أداء وادماج الحوسبة SDN/NFV في الشبكة الاساسية.



التحديات المستقبلية واعتبارات 6G

من أهم تحديات نشر خدمات 6G:

1) توازن الأداء والتكلفة في نطاقات التيراهيرتز (THz).

2) تكامل الشبكات الأرضية مع غير الأرضية (الأقمار الصناعية).

3) تقنين وضبط الاتصال بشبكات الأقمار الصناعية وشبكات Cell-Free.

4) أمن سلاسل التوريد في البيئات المفتوحة.

الخلاصة: ركائز التخطيط الاستراتيجي لخفض التكاليف

- **الاستثمار الذكي في البنية التحتية:**
  - التخطيط الهجين للخلايا (ماكرو/صغيرة) بناءً على تحليل البيانات المكانية.
  - التشارك في المواقع (Tower Sharing) وتقليل تكاليف الإيجار.
  - تشغيل الخدمات الذكية واستعمالها في عمليات تحسين الأداء.
- **الرقمنة والمرونة:**
  - التحول إلى NFV/SDN: خفض تكاليف الأجهزة، تسريع نشر الخدمات.
  - نماذج التوزيع الأمثل للحوسبة (MEC) لتقليل الضغط على الشبكة الأساسية.
- **الأتمتة كحجر الزاوية:**
  - التشغيل الذاتي للشبكات (SON) لخفض تكاليف التشغيل والصيانة.
  - استخدام الذكاء الاصطناعي لتسهيل التعامل مع تعقيد الشبكة.

التوصيات

- **للمدراء:**
  - استخدام الطاقة الخضراء.
  - الاستثمار في الأتمتة والذكاء الاصطناعي كأولوية.
  - تبني نماذج التشارك في البنية التحتية.
  - تبني تقنيات موثوقة مفتوحة المصدر.
- **للباحثين:**
  - تطوير خوارزميات ذكاء اصطناعي "خضراء".
  - نمذجة التكلفة الشاملة (TCO) لسيناريوهات 6G.

النقاش والاستفسارات