

La durabilité des opérateurs de télécommunications

Le RAN compte pour 75 % de la consommation d'électricité d'un opérateur de télécommunications.

Synthèse

Dans de nombreux secteurs, la durabilité de l'informatique constitue un défi à plusieurs facettes. Plus particulièrement, les opérateurs de télécommunications s'intéressent aux technologies et méthodes qui leur permettraient de réduire leur consommation électrique et d'atteindre leurs objectifs de durabilité, notamment pour le réseau d'accès radio (RAN) qui représente environ 75 % de leur consommation totale. Au sein des réseaux des opérateurs, l'optimisation de la consommation énergétique et des émissions de CO₂ peut s'effectuer au niveau du nœud, du cluster, du système et du domaine. Ces quatre composantes englobent le contrôle précis du matériel et de ses paramètres, les ordonnanceurs et les autoscalers spécialisés, mais aussi l'orchestration globale avec le placement des charges de travail à l'aide de l'intelligence artificielle et de l'apprentissage automatique (IA/AA). Ces possibilités d'optimisation dépendent de fonctions uniques, propres à une technologie ou un domaine.

Durabilité : vers une activité sans aucune émission de CO₂

Différents acteurs exigent des opérateurs de télécommunications qu'ils définissent des objectifs de durabilité. Cette pression vient aussi bien de générations attentives aux conséquences de l'activité humaine sur l'environnement que de gouvernements qui s'alignent sur des mesures de protection de la planète pour les générations futures.

Afin de respecter les réglementations et objectifs nationaux pour la réduction des émissions de CO₂, les opérateurs de télécommunications visent la neutralité carbone de leur activité d'ici les prochaines années, en se fixant pour objectif final l'absence totale d'émissions. De nouvelles réglementations globales demandent aux entreprises publiques de fournir des rapports regroupant des informations environnementales, sociales et de gouvernance (ESG) dans un format standardisé. Aux États-Unis, les entreprises doivent se conformer aux nouvelles règles de la SEC (Securities and Exchange Commission), proposées pour améliorer et standardiser les communications liées à l'environnement. Au sein de l'Union européenne, les entreprises doivent établir des rapports qui respectent les exigences de la directive CSRD de la Commission européenne relative à la publication d'informations en matière de durabilité.

Dans un rapport ESG, la durabilité est au cœur des questions environnementales. Tandis que les rapports ESG se basent sur des normes définies par des politiques, les mesures standard de la durabilité environnementale s'appuient sur une approche scientifique. Bien que ces deux concepts se chevauchent, de bonnes performances ESG ne garantissent pas une bonne durabilité, et inversement.

Technologies et durabilité

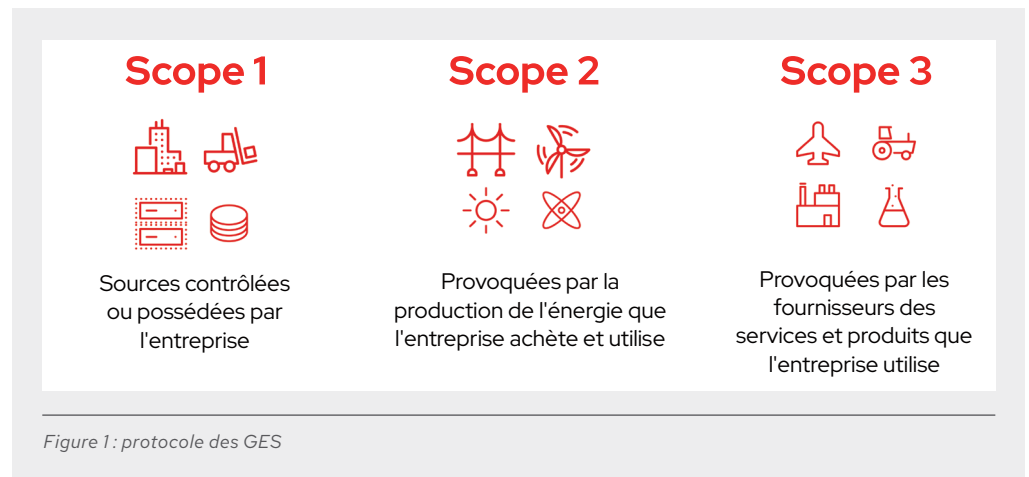
La durabilité est un enjeu dans tous les secteurs, où chaque entreprise a ses propres défis à relever. En matière de services technologiques, la réduction des émissions de CO₂ et de la consommation énergétique fait souvent partie des objectifs prioritaires des opérateurs de télécommunications. Il s'agit, d'une part, d'atteindre la neutralité carbone et d'éliminer totalement les émissions de leur activité en utilisant principalement des énergies renouvelables, et d'autre part, de réduire la consommation d'électricité tout en optimisant l'utilisation de l'énergie.

Les émissions de CO₂ représentent 79 % des gaz à effet de serre.

Émissions de CO₂

La réduction des émissions de CO₂ est un défi à plusieurs facettes. Le Protocole des gaz à effet de serre (GES)¹ définit des normes pour la mesure et la gestion des émissions. Pour réduire les gaz à effet de serre, nous pouvons commencer par réduire les émissions de CO₂ qui représentent jusqu'à 79 %² des gaz à effet de serre émis au total.

Comme indiqué sur la Figure 1, le Protocole des GES définit trois champs d'application (scope 1, 2 et 3) des émissions, dont les dépendances sont plus ou moins directement liées à l'entreprise :



- ▶ **Scope 1** : émissions directes de gaz à effet de serre, provoquées par des sources directement contrôlées ou possédées par l'opérateur de télécommunications. Ces sources incluent les installations de l'entreprise (datacenters, bâtiments, bureaux, sites distants, etc.) et ses équipements (serveurs, générateurs, véhicules professionnels, etc.).
- ▶ **Scope 2** : émissions indirectes de gaz à effet de serre, provoquées par la production de l'énergie que l'opérateur de télécommunications achète et utilise.
- ▶ **Scope 3** : émissions provoquées par la production et la gestion du cycle de vie des produits (logiciels, matériel) et services (transport, cloud) que l'opérateur de télécommunications utilise.

Ainsi, la réduction des émissions de CO₂ dans ces trois champs d'application dépend directement de la possibilité pour l'entreprise de retracer les sources et destinations de l'énergie, de préférence en collaboration avec les fournisseurs de produits et services.

Un opérateur de télécommunications peut réduire les émissions de CO₂ au sein de son réseau au niveau du nœud, du cluster, du système et du domaine.

La réduction des émissions de CO₂ peut être considérée comme une conséquence des quatre composantes décrites ci-dessous (nœud, cluster, système et domaine), enrichies d'indicateurs de mesure pertinents. Pour une activité neutre en carbone ou sans aucune émission, les méthodes d'optimisation de la consommation électrique ou énergétique doivent inclure des indicateurs de mesure qui comparent les sources d'énergie, par exemple le pourcentage d'énergies renouvelables et fossiles utilisées par chaque nœud.

¹ Protocole des gaz à effet de serre, « [We set the standards to measure and manage emissions](#) », page consultée le 7 novembre 2022.

² Agence de protection de l'environnement des États-Unis, « [Overview of greenhouse gasses](#) », 16 mai 2022.

En intégrant les informations sur les émissions de CO₂ aux indicateurs de mesure utilisés pour l'optimisation, il est possible de déterminer la meilleure méthode d'optimisation et d'utiliser des techniques communes aux quatre composantes.

L'une des principales difficultés concerne le manque d'interfaces de programmation d'application (API) standardisées ou de sources de données qui fournissent des informations sur les émissions de CO₂ du scope 2, provoquées par l'énergie que consomment les nœuds à un moment et un lieu précis. S'il est possible d'obtenir ces indicateurs de mesure avec différents degrés de précision, et même parfois gratuitement, ils se limitent généralement à une zone géographique et une résolution réduite.

Les communautés Open Source travaillent ensemble sur un protocole pour la durabilité de l'informatique afin de créer des indicateurs de mesure qui prennent en compte l'empreinte carbone.

À l'exemple du [projet Sustainable Computing](#), la communauté contribue également à la création d'un protocole capable d'extraire ces informations dans un format cloud-native. La Green Software Foundation propose aussi le [kit de développement logiciel Carbon Aware SDK](#) pour aider les opérateurs de télécommunications à concevoir des logiciels plus respectueux de l'environnement. Malgré ces efforts communautaires, aucun acteur ne fournit d'indicateur de mesure ou de norme à suivre à l'échelle nationale ou internationale. Les divers acteurs du secteur doivent se rassembler autour de cette question afin de standardiser les API ainsi que les sources et la résolution des indicateurs de mesure.

Consommation d'énergie

L'efficacité énergétique est une préoccupation constante pour les opérateurs de télécommunications, qui cherchent à réduire la consommation d'électricité de leur réseau.

D'après le TM Forum, la consommation d'électricité des opérateurs de télécommunications représente 3 % de celle de l'humanité entière³. Comme indiqué sur la Figure 2, environ 75 %⁴ de leur consommation provient des RAN. Ce chiffre correspond à une part importante des dépenses d'exploitation pour les réseaux des opérateurs de télécommunications.

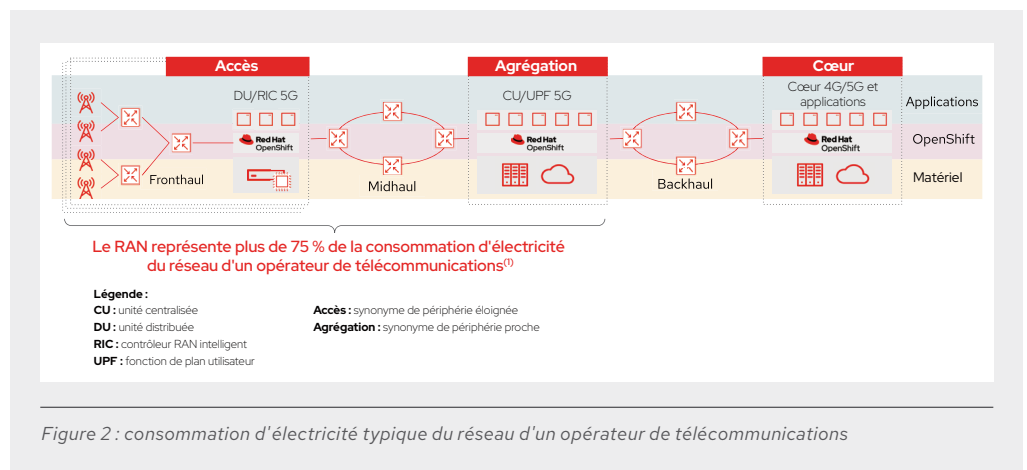


Figure 2 : consommation d'électricité typique du réseau d'un opérateur de télécommunications

Les opérateurs de télécommunications ont intérêt à adopter des technologies et méthodes qui soutiennent leurs initiatives de durabilité, et à chercher à réduire leurs coûts énergétiques tout en continuant à respecter les réglementations.

Dans ce cadre de référence, nous avons identifié quatre composantes pour l'optimisation de la consommation d'énergie et des émissions de CO₂ :

³ « Can the telecoms industry power down its impact on the environment? », *Inform Tmforum*, 19 août 2021.

⁴ « A holistic approach to address RAN energy efficiency », *Ericsson*, 16 décembre 2021.

- ▶ **Au niveau du nœud** : possibilités d'optimisation grâce aux innovations en matière de processeurs et de leurs architectures, aux types de matériel (par exemple, la consommation d'électricité des cartes d'interface réseau intelligentes), aux accélérateurs matériels et aux processeurs graphiques, ou encore à l'ajustement des paramètres du nœud (par exemple, les fréquences des cœurs et de la mémoire ou la désactivation de cœurs).
- ▶ **Au niveau du cluster** : possibilités d'optimisation applicables à l'ensemble d'un cluster. Il peut s'agir d'ordonnanceurs, de systèmes d'ordonnancement inversés et de clusters peu gourmands en énergie, ou d'autoscalers de pods.
- ▶ **Au niveau du système** : ensemble des clusters et éléments qui contribuent à la distribution d'un service. Il peut s'agir des clusters, commutateurs, routeurs et antennes qui forment le réseau mobile.
- ▶ **Au niveau du domaine** : fonction spécialisée d'un service ou système, par exemple le domaine RAN, le domaine MEC (multiaccess edge computing) ou le domaine CDN (réseau de diffusion de contenu). Chacun de ces services s'optimise d'une manière propre à son domaine. Par exemple, la consommation énergétique des antennes d'un RAN peut être réduite en ajustant la quantité d'énergie fournie à chacun des secteurs, ou en activant et désactivant ces derniers en fonction de leur utilisation. Dans le cas d'un domaine MEC, l'optimisation peut concerner l'emplacement de la charge de travail en fonction de la source d'énergie, ou de l'utilisation globale d'un nœud.

Les opérateurs de télécommunications peuvent s'appuyer sur ces quatre composantes afin de prendre connaissance des options déjà disponibles, de la réalité du marché et des moyens à leur disposition pour améliorer leurs options.

Possibilités d'optimisation au niveau du nœud

Les possibilités d'optimisation au niveau du nœud peuvent être réparties en deux catégories :

- ▶ L'optimisation du matériel
- ▶ L'optimisation du système d'exploitation

Comme indiqué sur la Figure 3, les possibilités d'optimisation peuvent aller du contrôle granulaire des composants matériels (disques, cartes réseau, processeurs graphiques, etc.) à l'identification et la désactivation des composants inactifs (par exemple, éteindre les cœurs ou les accélérateurs matériels non utilisés), en passant par l'adoption d'autres architectures matérielles (cartes d'interface réseau intelligentes, processeurs ARM, etc.).

Il est possible d'optimiser le système d'exploitation avec des profils qui consomment peu d'énergie (comme des profils conçus pour économiser l'énergie du serveur) ou une sélection granulaire des paramètres pour améliorer l'efficacité énergétique (sélection des gouverneurs de processeurs, paramètres de fréquence des cœurs, ajustement des paramètres P-state et C-state, etc.).



Figure 3 : possibilités d'optimisation au niveau du nœud

La désactivation des composants non utilisés au sein du réseau d'un opérateur de télécommunications réduit fortement la consommation d'électricité.

La consommation électrique peut être fortement réduite en désactivant ou en éteignant les composants matériels non utilisés, ou en désactivant les cœurs de processeur ou les processeurs graphiques virtuels non utilisés. Le réseau d'un opérateur de télécommunications peut comprendre des centaines de milliers de nœuds, et la quantité d'électricité à économiser peut vite grimper.

Contrôle granulaire des paramètres du système d'exploitation

Des économies d'électricité ont déjà été réalisées grâce aux profils à faible consommation d'énergie et au contrôle des paramètres de fréquence, des gouverneurs de processeurs et des paramètres P-state et C-state. Cependant, la réduction de la consommation électrique peut affaiblir l'efficacité énergétique, tandis que l'efficacité de l'unité d'alimentation peut augmenter la consommation électrique du nœud.

Il n'y a pas de corrélation directe ni de relation linéaire entre la réduction de la consommation d'électricité et l'amélioration de l'efficacité énergétique. La réduction de la consommation peut diminuer l'efficacité de l'exécution des tâches telles que le traitement par paquets, ce qui dégrade les performances des applications à faible latence.

Le contrôle des unités d'alimentation présente des limites. Même sur un nœud inactif, l'unité d'alimentation peut consommer environ 45 % de sa puissance nominale. Par exemple, une unité d'alimentation de 600 W consommera toujours environ 270 W au minimum. Même si l'optimisation du système d'exploitation génère d'importantes économies d'électricité, la quantité consommée peut se maintenir à environ 45 % ou plus. En outre, l'optimisation du système d'exploitation ne permet pas de contrôler l'écart de consommation dû au rendement de l'unité d'alimentation. Par exemple, pour une consommation de 600 W, même une unité d'alimentation avec un rendement de 95 % consommera environ 632 W.

Toute optimisation du système d'exploitation se heurte à un seuil minimal en dessous duquel elle n'a aucune influence sur la consommation électrique. Un seuil maximal existe également, ou une utilisation maximale du nœud, au-delà duquel d'autres facteurs ont un effet direct sur l'efficacité énergétique, comme la température des processeurs et des composants électroniques. Cet éventail de possibilités peut modifier des attributs comme les performances et la latence de la charge de travail.

Pour réduire la consommation d'électricité, d'autres architectures matérielles et un ordonnancement intelligent des charges de travail sont à l'étude.

La compréhension des seuils d'utilisation minimale et maximale spécifiques du nœud permet d'utiliser diverses méthodes d'optimisation de façon à obtenir des nœuds parfaitement durables. Dans l'idéal, en plus des avantages au niveau du nœud, il faudrait aussi agir à des niveaux supérieurs tels que le cluster ou le système, afin de tenir compte de ces seuils dans les règles de placement des charges de travail.

Adoption d'autres architectures matérielles

Parce qu'ils intègrent des possibilités d'économie d'électricité et de réduction des coûts généraux, les processeurs ARM séduisent les opérateurs de télécommunications, qui délaissent les processeurs x86. Certains obstacles doivent néanmoins être éliminés. La plupart des applications réseau ne sont pas conçues pour s'exécuter sur l'architecture ARM, ce qui signifie qu'elles ont besoin d'un remaniement et de tests de grande envergure avant tout déploiement sur le réseau d'un opérateur de télécommunications. Les économies attendues ne sont donc pas forcément garanties.

Par rapport aux processeurs ASIC (Application-Specific Integrated Circuit), les processeurs x86 et ARM prêts à l'emploi sont incapables de répondre efficacement aux besoins de traitement du trafic, qui se mesure en téraoctets dans un environnement à un seul rack. Pour cette raison, les routeurs de cœur Internet fonctionnent toujours avec des composants personnalisés. La solution pourrait être d'exploiter un mélange d'infrastructures x86 et ARM avec un ordonnancement intelligent des charges de travail. Toutefois, pour éviter la complexité opérationnelle d'une architecture mixte, les opérateurs de télécommunications devront peut-être investir dans une infrastructure d'exploitation plus récente et plus intelligente.

Possibilités d'optimisation au niveau du cluster

Le passage du nœud au cluster offre de nouvelles possibilités d'optimisation, principalement en raison du changement d'échelle.

Les possibilités d'optimisation au niveau du cluster incluent les ordonnanceurs à faible consommation électrique et les autoscalers à faible consommation énergétique. Les ordonnanceurs spécialisés permettent au système d'exécuter des charges de travail sur des nœuds en utilisant des caractéristiques adaptées au résultat souhaité. En prenant en compte le seuil d'utilisation idéale d'un profil matériel optimisé pour consommer moins d'électricité ou être plus efficace, un ordonnanceur spécialisé peut déterminer si la répartition de la charge de travail sur plusieurs nœuds ou l'exécution d'un plus grand nombre d'applications par nœud conduit aux meilleurs résultats, en fonction de l'objectif d'optimisation. Par exemple, l'approche sera différente si l'objectif est l'efficacité énergétique, la réduction de la consommation d'électricité ou des émissions de CO₂.

Les possibilités d'optimisation au niveau du système peuvent prendre la forme du calcul des meilleurs chemins d'accès au réseau, pour une faible consommation d'électricité, et de la mise à l'échelle automatique de clusters en fonction de la consommation d'énergie.

Dans les environnements à clusters multiples, des modèles standard spécifiques s'utilisent pour déployer chaque cluster. Pour une meilleure distribution ou agrégation des charges de travail actives, il faut alléger les ressources nécessaires. Pour ce faire, il est possible d'identifier les charges de travail hébergées dans le cluster qui n'utilisent pas les fonctions ou capacités optionnelles de la plateforme, comme les indicateurs de mesure à l'échelle du cluster ou les opérateurs Kubernetes qu'aucune application n'utilise. Il est également possible de désactiver ou d'activer de manière dynamique ces fonctions ou capacités.

Possibilités d'optimisation au niveau du système

Les possibilités d'optimisation au niveau du système s'appuient sur des méthodes intelligentes axées sur le placement et l'ordonnancement des charges de travail dans un environnement à clusters multiples, comme indiqué sur la Figure 4. Il s'agit de méthodes avancées, qui déterminent par exemple un chemin d'accès au réseau peu gourmand en électricité pour la communication entre les services. Il peut aussi s'agir de la mise à l'échelle automatique de clusters en fonction des exigences énergétiques des applications et services qui sont utilisés à un moment précis.

Ce type d'optimisation dépend de mécanismes d'orchestration élaborés basés sur l'IA/AA, qui peuvent effectuer des analyses avancées, prendre des décisions importantes et fournir des prédictions en fonction de l'état actuel et attendu du système. En raison des difficultés et des coûts que l'orchestration intelligente risque d'engendrer, notamment en matière de consommation d'électricité, il est nécessaire d'étudier attentivement les bénéfices potentiels en amont.

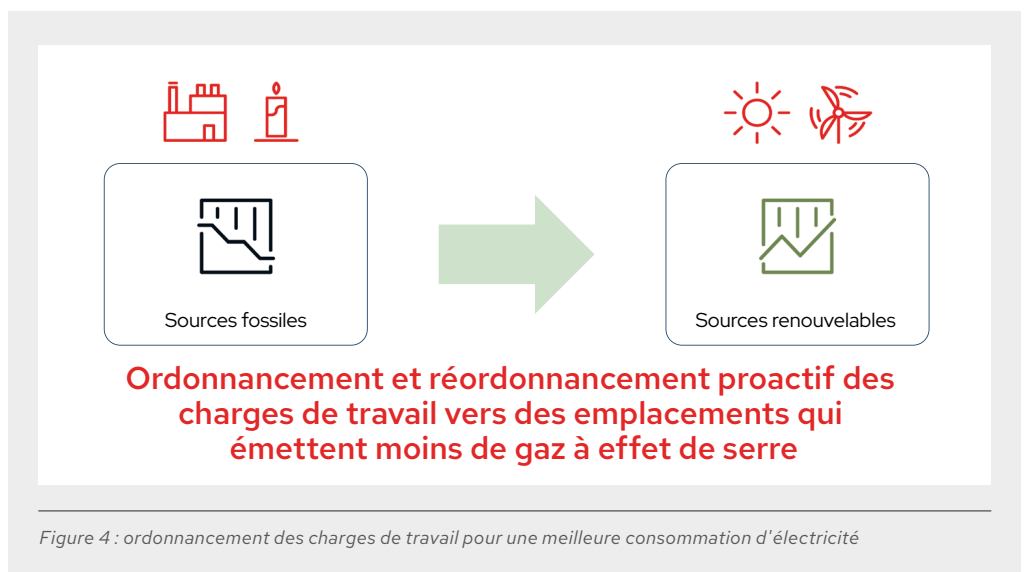


Figure 4 : ordonnancement des charges de travail pour une meilleure consommation d'électricité

L'IA et le contrôleur RAN intelligent (RIC) offrent de nombreuses possibilités d'optimisation au niveau du domaine RAN.

Possibilités d'optimisation au niveau du domaine

Les possibilités d'optimisation au niveau du domaine s'appliquent spécifiquement à l'environnement dans lequel elles s'effectuent. Pour les trois autres composantes, les opérateurs de télécommunications conservent un contrôle et une influence relativement élevés sur ces possibilités d'optimisation, mais au niveau du domaine, ils ont peu de marge de manœuvre au-delà des options proposées par le fournisseur de la solution qu'ils utilisent dans le domaine en question.

Voici trois exemples d'optimisation au niveau du domaine :

- ▶ Un opérateur de télécommunications peut économiser de l'électricité au sein de son réseau en contrôlant l'alimentation de chaque secteur de cellule grâce à l'IA et à un contrôleur RAN intelligent (RIC). Cette méthode connue est documentée par des organismes tels que l'O-RAN (open-RAN) Alliance, l'ETSI (European Telecommunications Standards Institute), le Green G, la Next G Alliance, etc. Malheureusement, ces possibilités d'optimisation s'appliquent uniquement si le fournisseur du RAN l'autorise. Par exemple, pour une antenne programmable, la solution RIC concernée doit contenir les intégrations propres au fournisseur de l'antenne et au logiciel RAN.
- ▶ Le livre blanc de Capgemini Engineering, « Projet "Bose", une façon intelligente d'activer des réseaux 5G durables », explique que les données de prédiction de la mobilité dans l'UE peuvent permettre à l'AMF (fonction d'accès et de gestion de la mobilité) de lier le RAN aux systèmes de radiomessagerie directionnelle, ce qui réduit l'énergie consommée par le RAN 5G⁵.
- ▶ De même, pour ajouter des capacités d'économie d'énergie au service du domaine CDN, tout dépend de la mise en œuvre et des capacités proposées par le logiciel CDN.

Les possibilités d'optimisation au niveau du domaine se révèlent particulièrement efficaces pour réduire la consommation d'énergie du RAN, qui représente 75 % de la consommation d'électricité du réseau d'un opérateur de télécommunications. Pour que ces possibilités d'optimisation s'appliquent à la solution RAN qu'ils utilisent, les opérateurs de télécommunications doivent se préparer à user de leur influence auprès des fournisseurs de logiciels RAN.

Concilier des objectifs qui s'opposent

Les objectifs d'un opérateur de télécommunications peuvent le conduire à associer plusieurs méthodes d'optimisation. L'efficacité énergétique améliore le retour sur investissement, l'économie d'électricité réduit les dépenses d'exploitation, et la réduction des émissions de CO₂ augmente les performances ESG. Même s'ils sont liés, ces objectifs peuvent entrer en conflit et chaque opérateur de télécommunications les hiérarchise en fonction de ses besoins. Bien qu'il soit possible de réduire les émissions de CO₂ avec des énergies renouvelables, cette approche peut nuire fortement aux dépenses d'investissement et d'exploitation du réseau d'un opérateur de télécommunications s'il opère dans un environnement RAN ou dans des zones où ce type d'énergie demande l'installation et la maintenance d'une nouvelle infrastructure d'alimentation, comme des panneaux solaires, des éoliennes, des batteries ou des onduleurs. En outre, la diminution des fréquences ou l'application d'autres restrictions au réseau pour réduire la consommation d'électricité peuvent affecter l'efficacité énergétique, prolonger la durée de réalisation des tâches et dégrader l'expérience utilisateur, ou exiger un investissement dans des outils d'orchestration plus élaborés et intelligents.

L'adoption de toutes les stratégies d'optimisation en même temps est peut-être un objectif irréalisable. Certaines possibilités d'optimisation s'appliquent à des charges de travail ou des configurations très spécifiques, et auront peu, voire pas d'effet dans d'autres domaines. Il est préférable de se concentrer sur l'amélioration progressive des systèmes pour atteindre ses objectifs.

Les opérateurs de télécommunications doivent identifier les priorités de leur entreprise : réduire les émissions de CO₂ pour atteindre la neutralité carbone ou l'absence totale d'émissions, renforcer l'efficacité énergétique pour améliorer le ROI, ou réduire la consommation

⁵ « [Projet "Bose", une façon intelligente d'activer des réseaux 5G durables](#) », Capgemini, juillet 2022.

d'électricité pour diminuer les dépenses d'exploitation. Ils doivent ensuite trier les objectifs en fonction de leurs priorités. Ce n'est qu'une fois les objectifs et priorités identifiés que des possibilités d'optimisation adaptées à chaque composante se profileront. Les opérateurs de télécommunications pourront alors adopter plus rapidement les stratégies directement liées à leurs objectifs.

Nos solutions

La durabilité de l'informatique est un défi à plusieurs facettes qui nécessite d'adopter différentes solutions. Les opérateurs de télécommunications doivent examiner les options possibles pour optimiser chacune des composantes décrites précédemment.

Chez Red Hat, nous proposons des possibilités d'optimisation au niveau du nœud pour des cas d'utilisation spécifiques tels que l'unité distribuée (DU) RAN. Nous adoptons également des approches globales, notamment avec des ordonnanceurs et des autoscalers de charges de travail qui nécessitent peu d'énergie, afin de fournir des indicateurs de mesure cohérents et fiables pour la consommation d'énergie des applications conteneurisées dans les environnements cloud, bare metal et virtualisés.

La plateforme Red Hat® OpenShift® inclut les fonctions natives suivantes :

Fonctions de Red Hat OpenShift (sous-ensemble)

Opérateur Tuned

L'opérateur Tuned aide à gérer l'ajustement au niveau du nœud. Dans Red Hat OpenShift, il sélectionne par défaut les profils hautes performances. Les mêmes fonctions s'utilisent pour accorder la priorité aux profils à faible consommation électrique ou pour créer des profils Tuned personnalisés qui permettent d'atteindre les objectifs de réduction de la consommation.

Suggestions de charges de travail et possibilités d'optimisation de l'environnement d'exécution

L'environnement d'exécution CRI-O est optimisé pour détecter les annotations dans le pod, afin d'adapter les paramètres du groupe de contrôle (cGroup) du noyau Linux® à l'utilisation souhaitée.

Les suggestions de charges de travail permettent aux nœuds de déterminer s'ils doivent être ajustés pour une latence très faible, malgré le surplus d'électricité nécessaire, ou s'ils peuvent être ajustés pour économiser de l'électricité.

Profils de latence du réseau des nœuds

Les nœuds peuvent être associés à un profil qui réagira avec différents degrés d'agressivité à tout changement d'état (prêt, défectueux, inconnu), en fonction de la latence du réseau tolérée par un nœud et ses charges de travail.

Cette fonction peut s'utiliser pour réduire le réordonnement des applications dans les environnements où la latence du réseau est élevée, ce qui peut modifier les seuils d'utilisation idéale de l'électricité pour les autres nœuds du cluster.

Fonctions de Red Hat OpenShift (sous-ensemble)

Applications inactives	<p>Avec les capacités natives de Red Hat OpenShift, les administrateurs peuvent désactiver les applications non utilisées. Celles-ci se réactivent à la réception de trafic réseau ou par une intervention manuelle.</p> <p>Cette capacité permet d'économiser des ressources lorsque les applications ne sont pas utilisées.</p>
Hibernation des clusters	<p>Red Hat Advanced Cluster Management for Kubernetes, solution de déploiement et de gestion des clusters dans les environnements de cloud public comme Amazon Web Services (AWS), Microsoft Azure ou Google Cloud Platform (GCP), offre aux administrateurs la possibilité de placer en hibernation des clusters afin de réduire leur consommation de ressources lorsqu'ils ne sont pas utilisés. Il peut s'agir d'un cluster de développement ou de test, inactif la nuit ou le week-end.</p>
Remise à zéro : fonction de mise à l'échelle automatique du service Serverless	<p>Le service Red Hat OpenShift Serverless met automatiquement à l'échelle les applications pour répondre à la demande. Lorsque cette capacité est activée, elle remet à zéro les applications qui ne reçoivent pas de trafic. Le service OpenShift Serverless mettra ensuite à l'échelle l'application pour répondre à toute augmentation du trafic.</p>
Mise à l'échelle automatique et redimensionnement des applications	<p>L'autoscaler horizontal de pods (HPA), l'autoscaler vertical de pods (VPA) et l'autoscaler Kubernetes basé sur les événements (KEDA) sont des mécanismes de Red Hat OpenShift qui permettent d'ajuster le nombre de réplicas ou les niveaux de ressources d'un pod, en fonction d'indicateurs de mesure généraux ou personnalisés.</p> <p>Lorsque les clusters disposent d'indicateurs de mesure pour les émissions de CO₂ ou la consommation d'électricité, certaines de ces capacités peuvent servir à mettre à l'échelle les charges de travail conformément aux objectifs de l'opérateur de télécommunications.</p>

Voici quelques-uns des projets de durabilité de l'informatique sur lesquels nous travaillons :

Projets en amont (sous-ensemble de projets en cours)

[KEPLER](#)

Le projet KEPLER (Kubernetes-based Efficient Power-Level Exporter) fait partie des outils que nous soutenons pour analyser précisément la consommation énergétique des pods.

Projets en amont (sous-ensemble de projets en cours)

KEDA	Nous travaillons avec la communauté pour intégrer des capacités natives de réduction des émissions de CO ₂ et de la consommation énergétique à l'autoscaler Kubernetes basé sur les événements (KEDA).
CLEVER	Nous travaillons avec l'outil de recommandation du système VPA, qui consomme peu d'énergie au niveau du conteneur, pour que les indicateurs de mesure de la consommation énergétique puissent être utilisés pour le VPA dans une application.
PEAKS	Dans le cadre du projet PEAKS (Power Efficiency-Aware Kubernetes Scheduler), nous travaillons sur un ordonnanceur Kubernetes qui prendrait en compte les indicateurs de mesure liés à l'électricité pour l'ordonnancement d'une application.

Parque nous sommes conscients que ces défis se retrouvent dans tous les secteurs, nous collaborons activement avec les communautés et les organismes de normalisation qui abordent ces sujets, comme le [groupe technique consultatif](#) de la Cloud-Native Computing Foundation (CNCF) chargé de la durabilité environnementale, l'[OS-Climate](#), l'[O-RAN Alliance](#) et le [TM Forum](#).

En savoir plus

Apprenez-en plus sur nos [solutions pour les opérateurs de télécommunications](#) et découvrez plus en détail les solutions [Red Hat OpenShift](#), [Red Hat Advanced Cluster Management for Kubernetes](#) et [Red Hat OpenShift Serverless](#).

**À propos de Red Hat**

Premier éditeur mondial de solutions Open Source, Red Hat s'appuie sur une approche communautaire pour fournir des technologies Linux, de cloud hybride, de conteneurs et Kubernetes fiables et performantes. Red Hat aide ses clients à développer des applications cloud-native, à intégrer des applications nouvelles et existantes ainsi qu'à gérer et à automatiser des environnements complexes. [Conseiller de confiance auprès des entreprises du Fortune 500](#), Red Hat propose des services d'assistance, de formation et de consulting [reconnus](#) qui apportent à tout secteur les avantages de l'innovation ouverte. Situé au cœur d'un réseau mondial d'entreprises, de partenaires et de communautés, Red Hat participe à la croissance et à la transformation des entreprises et les aide à se préparer à un avenir toujours plus numérique.

f facebook.com/redhatinc
t [@RedHatFrance](https://twitter.com/RedHatFrance)
in linkedin.com/company/red-hat

**Europe, Moyen-Orient
et Afrique (EMEA)**
 00800 7334 2835
europe@redhat.com

France
 00 33 1 41 91 23 23
fr.redhat.com