

écoconception de services numériques

Partie 4 - Réduire l'impact environnemental des objets connectés : défis et recommandations

Internet of Things

Objets connectés



Green Computing

Green IT

*IdO
Internet des objets*

TIC et développement durable

écoconception de services numériques

Quatrième partie :

Réduire l'impact environnemental des objets connectés : défis et recommandations

Ce support de cours trouve de nombreuses références issues du rapport « Le monde de l'Internet des objets Des dynamiques à maîtriser », FRANCE STRATÉGIE, 2022

Architecture IoT et technologie de rupture

L'Internet des objets IdO IoT en anglais pour « *Internet of Things* »

- Il désigne la mise en réseau, au moyen d'Internet, d'objets physiques
 - ✓ Ampoule électrique, panneau de signalisation, bracelet, brosse à dent, pacemaker, poupée, thermostat, pluviomètre, détecteur de CO2, caméra, vélo, vêtement, capteurs actionneurs sur une chaîne de production industrielle...
- Il créé une passerelle entre le monde physique et le monde virtuel
 - ✓ Mise en réseau numérique globale avec des impacts profonds sur tous les secteurs de l'activité humaine : habitat, transport, environnement de travail, usines, villes, agriculture, système de santé.
- C'est un élément clé de la transformation numérique
 - ✓ En 2021, la Conférence des Nations unies sur le commerce et le développement l'a distingué parmi les **onze technologies dites de rupture**.

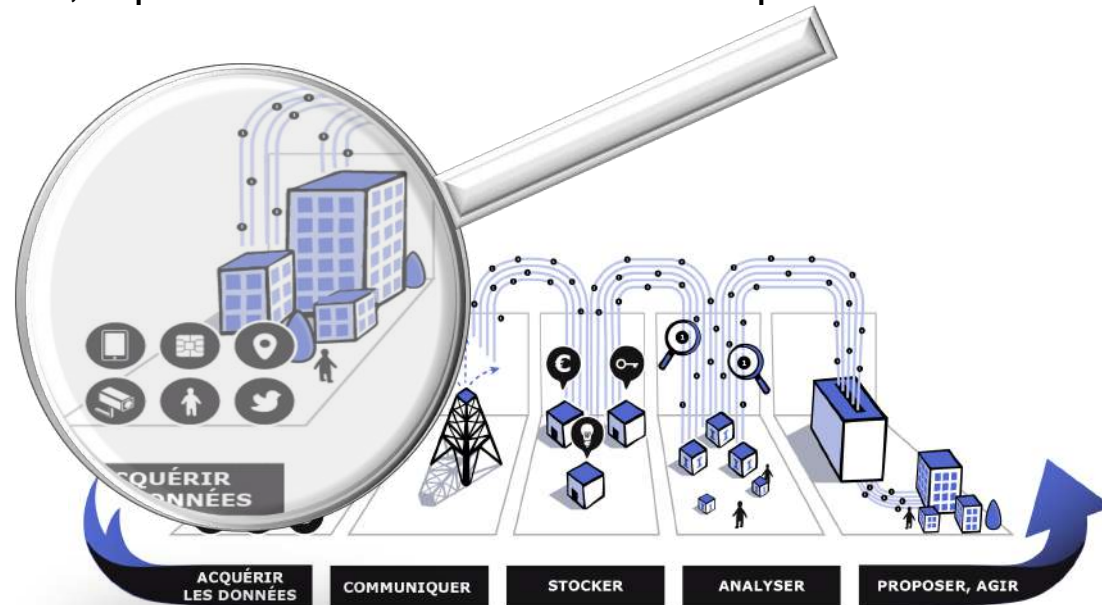
Les 10 autres étant : l'intelligence artificielle, le Big Data, la blockchain, la 5G, l'impression 3D, la robotique, les drones, l'édition génomique, les nanotechnologies et le photovoltaïque solaire.

Architecture IoT et technologie de rupture

- Les solutions respectueuses du climat deviendront une exigence pour les nouveaux projets
- les solutions à base d'IoT peuvent constituer l'un des meilleurs outils pour contribuer à atténuer les effets du changement climatique
- L'IoT est là pour alimenter les modèles en données - des données diverses et en grand nombre
- Les données provenant des appareils IoT peuvent alors fournir des informations exploitables sur un secteur particulier de l'environnement, et étayer des hypothèses sur les moyens de résoudre des problèmes spécifiques
- l'IoT peut alors aider à créer des formes plus écologiques pour de nombreuses facettes de la vie moderne, de l'agriculture aux transports et au-delà.

Technologie de rupture : exemple en ville intelligente

- Aider les communautés urbaines à résoudre les problèmes de durabilité des villes. Optimiser l'utilisation des ressources dans les villes, minimiser les déchets au sein des systèmes existants, équilibrer les situations dans lesquelles les ressources sont surutilisées...



- le mouvement des villes intelligentes s'est principalement concentré sur le développement économique plutôt que sur la durabilité.
- Aujourd'hui, l'accent est mis sur la création de villes intelligentes plus vertes

=> Construire et planifier les projets dans un esprit d'écoconception

Technologie de rupture : EXEMPLES

Source : *How Data Collected By IoT Devices Can Support Eco-Conscious Solutions*, Saverio Romero – IdO Expert, Webinar

Suivi des données sur la pollution urbaine

- En collaboration avec une autre équipe de projet, Romeo a consulté les autorités locales d'une ville de 80 000 habitants pour mettre en place un service de transport en commun écologique destiné à améliorer les niveaux de pollution dans le centre de la ville. Pour évaluer si le service contribue à réduire ces niveaux, la ville avait besoin d'un réseau étendu de dispositifs de surveillance de la pollution pour collecter les données. Sinon, il n'y aurait pas de vision précise des niveaux de pollution.
- L'équipe a installé un réseau multi-capteurs sur les lampadaires, comprenant des capteurs de lumière et de stationnement. Ces dispositifs ont canalisé les informations vers un tableau de bord unique qui a permis d'analyser les données sur les polluants au fur et à mesure que le réseau les recueillait.
- Le projet a permis au personnel municipal d'identifier les zones présentant des niveaux élevés de pollution, ce qui lui a fourni les informations nécessaires pour créer une nouvelle carte des voies de transport afin de réduire les polluants atmosphériques dans les zones à fort trafic. Elle a également jeté les bases de changements de politique qui ont favorisé l'introduction de véhicules verts dans le réseau de transport.
- Tout comme dans l'exemple de la gestion de l'eau, l'essentiel ici n'était pas que les dispositifs IoT eux-mêmes atténuent le changement climatique, mais qu'ils fournissent les données critiques nécessaires pour soutenir la prise de décision durable.

Solutions IoT durables dans l'agriculture

- L'agriculture est un secteur qui a historiquement créé d'énormes émissions de carbone, en particulier lorsqu'il s'agit d'élever du bétail. Cependant, les exploitations agricoles qui produisent des cultures peuvent également être de gros pollueurs en raison du ruissellement de pesticides et d'herbicides et de l'épuisement des ressources en eau locales dû à une irrigation intensive. Heureusement, c'est aussi un secteur ouvert au changement.
- "Le secteur agricole est l'un des plus innovants en termes d'utilisation de l'IoT", a déclaré Romeo. Par exemple, les données recueillies par les appareils IoT sur les cultures, l'eau ou l'utilisation des terres peuvent être particulièrement utiles pour créer des exploitations agricoles plus durables. Une autre application de l'IdO pourrait aider les agriculteurs à mieux soigner leurs plantes en surveillant les niveaux optimaux de nutriments. Cela pourrait diminuer le risque de perte de rendement des agriculteurs, ce qui leur assure des revenus plus élevés et une meilleure qualité de rendement. Cela permet également de réduire les déchets, ce qui est meilleur pour l'environnement, plus durable, et renforce la chaîne d'approvisionnement alimentaire.
- "La principale difficulté de l'adoption concerne la compréhension de la valeur de l'IdO et les capacités d'investissement et financières", a déclaré Romeo. Les grandes entreprises agroalimentaires ont adopté rapidement des solutions IdO, qu'il s'agisse d'utiliser des moissonneuses-batteuses sans conducteur ou des drones pour repérer les caractéristiques des terres et des cultures. M. Romeo affirme qu'une combinaison de politiques visant à encourager les solutions IdO, ainsi que l'éducation et le soutien technologiques, pourraient aider les petites et moyennes entreprises à s'aligner sur leurs homologues plus grandes.
- "Nous ne devrions pas viser l'industrialisation générale de l'agriculture, mais la qualité de l'agriculture et de l'alimentation", a déclaré Romeo. "Les technologies devraient aider ces entreprises, et non les transformer en quelque chose de différent."
- On peut souligner l'importance de fournir davantage de soutien technique aux acteurs du secteur agricole qui n'ont pas encore adopté de stratégies IoT. Partager l'histoire de l'IdO et de la durabilité, ainsi que des exemples montrant le véritable retour sur investissement et une analyse coûts-avantages, peut aider à convaincre les agriculteurs sceptiques ou les dirigeants de petites entreprises agroalimentaires.

Technologie de rupture : EXEMPLES (2)

Source : *How Data Collected By IoT Devices Can Support Eco-Conscious Solutions*, Saverio Romero – IdO Expert, Webinar

Utiliser les réseaux IoT pour endiguer les pertes d'eau

- Romeo a souligné que la modernisation des systèmes de réseaux d'eau était l'un des éléments clés pour créer des modèles d'agriculture plus durables. Avec ses partenaires de projet, il s'est attaqué aux pertes des systèmes de réseaux d'eau dans une petite communauté du sud de l'Italie ayant une production agricole importante. Chaque année, en juillet et en août, les agriculteurs et les systèmes communautaires se retrouvaient à sec.
- L'équipe de Romeo a découvert que le réseau d'eau obsolète présentait des fuites à plusieurs endroits, mais elle s'en remettait aux citoyens pour signaler les problèmes en raison de l'insuffisance des contingences de surveillance. Il était donc difficile de diagnostiquer l'origine des fuites et d'y remédier en temps voulu.
- L'équipe a remplacé le réseau complet étape par étape, en s'appuyant sur des applications IoT classiques comme la surveillance de la détection des fuites et la régulation du débit d'eau. Ils ont testé chaque solution individuellement afin de pouvoir évaluer la viabilité de chaque facette. Une fois qu'ils étaient sûrs de la réussite d'une solution, ils l'ont étendue au reste du système. "Les ingénieurs de l'eau étaient heureux d'avoir une image des canalisations sur leur appareil avec toutes les informations nécessaires, et les pertes d'eau ont été considérablement réduites", a déclaré Romeo. "Il y a beaucoup d'histoires comme celle-ci dans les systèmes d'eau dans lesquels l'IdO joue un grand rôle".

Des solutions IoT pour une surveillance environnementale en temps réel

- Les réseaux IoT peuvent également aider les communautés à surveiller et à protéger les ressources naturelles. Par exemple, les réseaux de capteurs peuvent surveiller les températures dans des endroits éloignés afin de fournir des alertes rapides sur les points chauds. Les solutions IoT visant à prévenir les incendies de forêt pourraient également inclure des réseaux de caméras au sol, ainsi que des observations par drone ou par satellite. Ces réseaux peuvent également aider à surveiller la progression des incendies de forêt qui brûlent déjà.
- Étant donné que la saison des feux de forêt de 2021 aux États-Unis a causé à elle seule entre 70 et 90 milliards de dollars de dommages, ce type de données est essentiel pour aider à endiguer l'impact économique de ces catastrophes - sans parler des effets écologiques. Selon M. Romeo, lorsque les données sont utilisées pour alimenter des applications d'IA qui les analysent à la recherche de modèles, "elles peuvent servir à prendre des décisions éclairées, à établir des modèles prédictifs et des analyses prescriptives."
- Mais M. Romeo voit des applications plus larges pour la gestion de l'environnement et du territoire, au-delà des feux de forêt. En combinant les solutions, a-t-il dit, les scientifiques peuvent prendre de meilleures décisions concernant toutes sortes de menaces environnementales. Les solutions IoT ont fait partie intégrante des efforts visant à mettre fin à la déforestation en écoutant les sons forts tels que les tronçonneuses ou les gros véhicules, à suivre les populations d'abeilles pour s'assurer que les ruches restent stables et saines, et à empêcher les braconniers de tuer les rhinocéros et les éléphants pour leurs défenses.
- "Je pense que l'IoT est vraiment conçu pour la gestion des territoires et des ressources en eau", a déclaré Romeo. "Il y a là une correspondance parfaite".

Architecture IoT... conséquences

- Conséquence de la présence généralisée d'objets connectés dans tous les secteurs d'activité :
 - ✓ la massification d'objets communicants
 - ✓ l'intensification de l'utilisation des réseaux
 - ✓ la création de nouvelles infrastructures de stockage et de traitement pour exploiter les volumes particulièrement importants de données produites

- Conséquence en matière environnementale
 - ✓ augmentation de la consommation énergétique
 - ✓ une empreinte environnementale accrue du numérique.



Imaginons un monde comptant 50 à 60 milliards d'appareils, dans quelle mesure les bénéfices environnementaux de l'IoT pourront-ils compenser voire dépasser les coûts liés à la production des objets, à leur consommation énergétique et au traitement des déchets qu'il occasionnera ?

Rappel de situation temporelle

Années 1960

Internet est né



L'Internet connecte les ordinateurs entre eux et transmet des messages simples avec une capacité d'échange de données limitée.

1989-2000

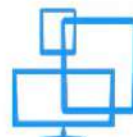
Une première révolution



Les technologies Web permettent de lier des documents. Le WWW est né (Web 1.0).

Début des années 2000

Internet devient universel



L'Internet est désormais une plateforme de communication universelle. Il transporte tout le contenu vocal, vidéo ou informationnel, les médias sociaux permettant le contenu généré par l'utilisateur (Web 2.0).

Aujourd'hui

L'Internet des objets : la nouvelle étape



L'IoT est la prochaine étape vers la numérisation où tous les objets peuvent être interconnectés entre eux ou avec des personnes via des réseaux de communication, dans et entre les espaces privés, publics et industriels, et rendre compte de leur état et/ou de l'état de leur environnement.



L'IoT est un élément clé du développement de l'Internet, car il se caractérise par la collecte massifiée des données connectées et analysées.

Source : France Stratégie - BCG et EY-Parthenon

Vers une meilleure compréhension de la notion d'IoT

■ Union internationale des télécommunications (UIT), 2012

« L'Internet des objets est une infrastructure mondiale pour la société de l'information, qui permet de disposer de services évolués en interconnectant des objets (physiques ou virtuels) grâce aux technologies de l'information et de la communication interopérables existantes ou en évolution. »

■ Commission européenne, 2014

« The Internet of Things enables objects sharing information with other objects/members in the network, recognizing events and changes so to react autonomously in an appropriate manner. The IoT therefore builds on communication between things (machines, buildings, cars, animals, etc.) that leads to action and value creation . »

■ OCDE, 2015 et 2018

« L'Internet des objets comprend tous les appareils et objets dont l'état peut être modifié via l'Internet, avec ou sans la participation active des individus. Alors que les objets connectés peuvent nécessiter l'intervention de dispositifs considérés comme faisant partie de "l'Internet traditionnel", cette définition exclut les tablettes portables et les smartphones déjà pris en compte dans les mesures actuelles du haut débit de l'OCDE. »

■ Arcep, 2016

« L'Internet des objets correspond à un ensemble d'objets connectés, et de technologies de réseaux qui se conjuguent en associant : des objets physiques qui possèdent des technologies embarquées de capteurs, d'intelligence et de connectivité, leur permettant de communiquer avec d'autres objets ; des réseaux de communications électroniques qui permettent de transporter les données issues des objets ; des applications de traitement des données qui apportent les outils pour le stockage, la corrélation et l'analyse de ces données. C'est d'ailleurs souvent dans ce cloud que se trouvent les processus décisionnels à même de rétroagir sur les objets physiques. »

■ European Union Agency for Network and Information Security (ENISA), 2017

« A cyber-physical ecosystem of interconnected sensors and actuators, which enable intelligent decision making . »

■ Inria, 2021

« l'IoT représente un ensemble de technologies de portée générale, qui : jettent des ponts entre le monde numérique et le monde physique ; comblent l'écart entre les technologies Internet et des systèmes embarqués de plus en plus variés (...) l'IoT comme un équivalent de l'Internet du Tout (Internet of Everything, terminologie Cisco/W3C), de l'Internet physique (Physical Web, Google), de l'informatique physique (Physical Computing, Arduino), de la communication entre machines (Machine-to-Machine, M2M), des systèmes cyberphysiques (Cyber-Physical Systems, théorie des asservissements) ou du World-Sized Web. »

Source : *Le monde de l'Internet des objets Des dynamiques à maîtriser*, FRANCE STRATÉGIE, 2022

Définition adoptée dans ce cours

Un consensus...

Ne considérer dans l'loT que les composants qui n'étaient pas déjà constituants d'Internet.

« L'internet des objets est un ensemble d'objets connectés et de technologies de réseaux qui, à l'exclusion des stations de travail, des tablettes, des téléphones portables et des smartphones, se conjuguent en associant :

- ✓ *des objets physiques qui possèdent des capteurs connectés, éventuellement dotés de capacités de calcul et qui sont en mesure d'interagir avec leur environnement ;*
- ✓ *des réseaux de communication numériques filaires ou non filaires qui permettent de communiquer les données issues de ces objets ;*
- ✓ *des espaces de stockage distants pour les données recueillies ;*
- ✓ *des applications de traitement des données qui engagent des processus décisionnels à même de rétroagir sur des objets physiques inanimés ou vivants.*

Principaux constats relatifs à l'IoT

- L'IoT a déjà et va avoir un impact croissant sur la société, les citoyens et les entreprises. (...)
- L'IoT accroît les surfaces de vulnérabilité et présente des risques renouvelés en matière de cybersécurité. (...)
- Les développements de l'IoT se jouent largement hors de nos frontières et impliquent des technologies de maturité inégale. (...)
- L'IoT se fonde sur un cadre de régulation déjà riche, avec de nombreuses dispositions au niveau européen et national, mais fragmenté et générateur de complexité. (...)
- **L'IoT va constituer une composante importante de l'impact environnemental du numérique.** La massification des usages et des infrastructures (réseaux, *edge*, cloud, équipements) conduit à une augmentation significative de la consommation énergétique et de l'empreinte carbone – hausse à mettre en regard des bénéfices potentiels sur la maîtrise des autres dépenses énergétiques et des engagements de l'accord de Paris. Importance d'établir des recommandations pour réduire cet impact en tenant compte de l'ensemble des dimensions de l'IoT, du choix des réseaux au recyclage des équipements.

Quelques chiffres clés... vue économique

- Le stock du nombre d'objets connectés va plus que doubler de 2020 à 2030 [2]

Monde : 20 milliards d'IoT (2020)
=> environ 45 milliards (2030)

- Ce marché devrait être multiplié par plus de dix d'ici 2025 [3,4]

Monde : 130 milliards \$ (2018)
=> 1 500 milliards \$ (2025)

France : Marché évalué à 45 milliards \$ (2025)

[2] Ademe et Arcep (2022), *Évaluation de l'impact environnemental du numérique en France et analyse prospective, janvier*. Ademe : Agence de la transition écologique. Arcep : Autorité de régulation des communications électroniques, des postes et de la distribution de la presse.

[3] AIE (2019), *Total Energy Model for Connected Devices, IEA 4E EDNA, programme de coopération technique de l'Agence internationale de l'énergie, juin*.

[4] CNUCED (2021), *Technology and Innovation Report 2021, op. cit.*

Quelques chiffres clés... vue environnementale

■ En France, (Ademe et Arcep, 2022)

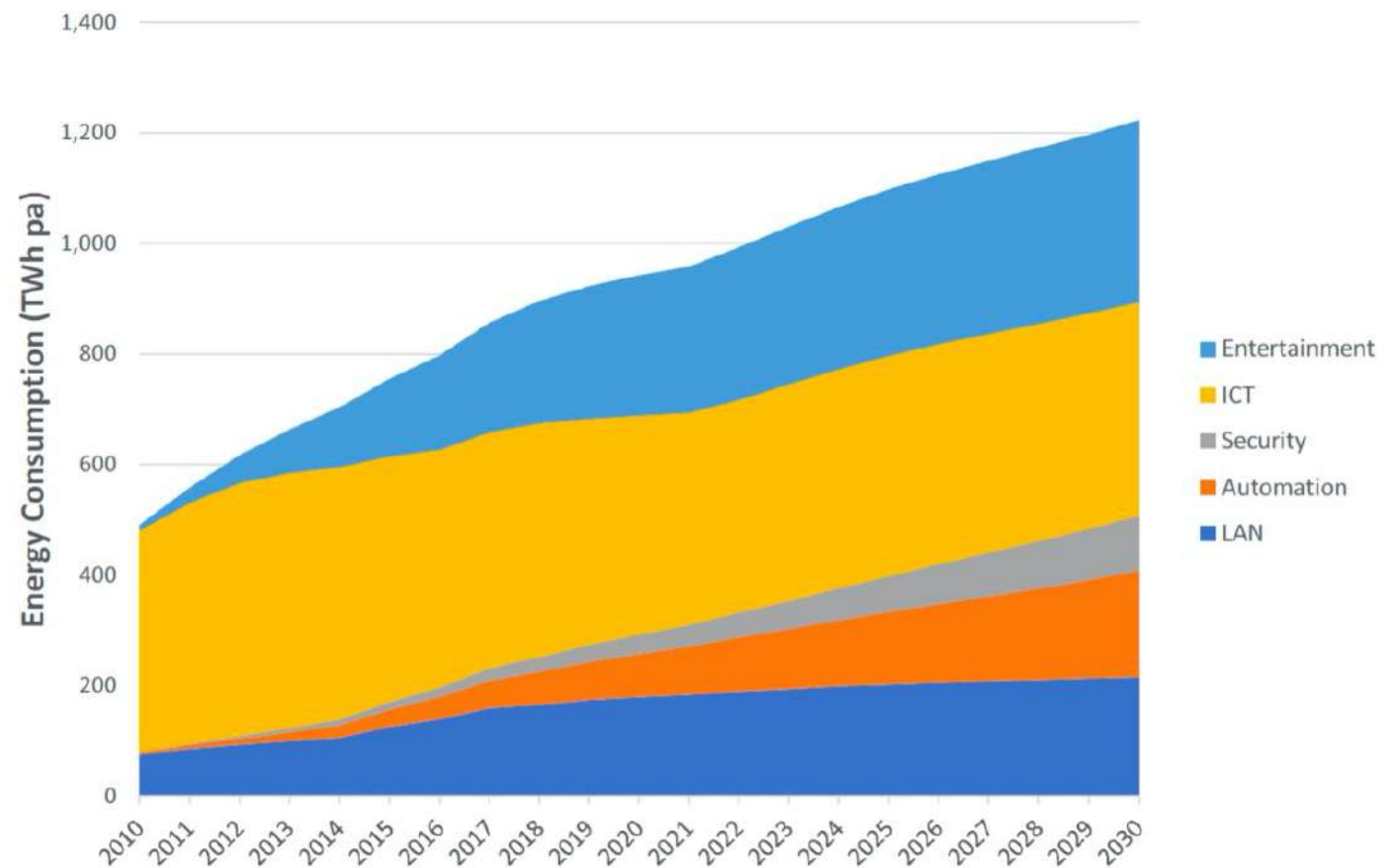
- ✓ Nombre estimé d'objets connectés installés de 244 millions en 2021.
- ✓ Moyenne de consommation d'un IoT 30 kWh/an,
- ✓ Consommation électrique des objets connectés = environ 7,2 TWh/an,
- ✓ soit 15 % de la consommation des biens et services numériques.

■ Empreinte carbone des IoT en France

- ✓ Estimée en 2022 à près de 460 000 t éq. CO2
327 000 Aller-Retour Réunion-Paris pour une personne
- ✓ A l'horizon 2040, elle pourrait s'élever à plus de 6 Mt éq. CO2
Soit 13 fois plus qu'en 2022.

Quelques chiffres clés... vue environnementale







Graphique 29 – Évolution de la consommation énergétique mondiale des objets et terminaux connectés, par catégorie d'usage










Source : AIE (2021), [Total Energy Model 2.0 for Connected Devices](#), op. cit., p. 24

Recommandations stratégiques (France Stratégie)

Soutenir le développement d'un IoT sobre et responsable

-  Mieux organiser les filières de recyclage pour qu'elles s'adaptent aux objets connectés, depuis les filières de tri jusqu'au recyclage, cf. révision de la directive européenne sur les DEEE (déchets des équipements électroniques et électriques).
-  Inclure les dispositifs IoT dans le référentiel général d'écoconception des services numériques, prévu au titre de la loi REEN du 15 novembre 2021.
-  Intégrer dans la gestion du spectre radioélectrique des dispositifs d'incitation à des choix d'implémentation frugaux (énergétique, données, ressources, algorithmes).
-  Mettre à disposition des acheteurs publics et des prescripteurs, en particulier auprès des collectivités, des outils d'aide à la décision (bonnes pratiques, simulateurs indépendants) pour mesurer l'efficacité et les bénéfices environnementaux du déploiement d'une solution IoT (coûts/bénéfices, proportionnalité, finalité, transparence, etc.).
-  Intégrer dans les certifications ou labels existants à l'attention du grand public des mentions spécifiques relatives aux objets connectés permettant de s'informer sur l'impact de leurs usages.
-  Intégrer explicitement les objets connectés grand public dans la liste des produits concernés par l'indice de réparabilité prévu au titre de l'article 16 de la loi n° 2020-105 relative à la lutte contre le gaspillage et à l'économie circulaire.

Recommandations pratiques

-  Privilégiez des IoT fonctionnant sur **batterie rechargeables**.
-  Vérifiez la durée de vie théorique avant remplacement des batteries.
-  Vérifiez que les batteries sont recyclables.
-  Privilégier une **alimentation par énergies renouvelables** par exemple via panneau solaire (éclairage extérieur, arrosage, etc...).
-  Vérifiez que les composants sont ROHS (Restriction of Hazardous Substances). pas de composants dangereux et respect de la législation en vigueur.
-  Suivre de près les évolutions applicatives par une veille technologique. Certains capteurs solaires peuvent d'être rechargés par la lumière ambiante à l'intérieur de la maison durant le jour.
-  Éviter l'utilisation d'un écran en permanence lorsque cela est possible.