

Haute École
ICHEC – ECAM – ISFSC



Enseignement supérieur de type long de niveau universitaire

*Comment la collecte des données des compteurs de gaz et d'électricité peut aider
les écoles à réduire leurs consommations énergétiques ?*

Mémoire présenté par :

S.N.P. Manpreet Singh

Pour l'obtention du diplôme de

Master Business Analyst

Année académique 2022-2023

Promoteur :

Monsieur Girard Xavier

Boulevard Brand Whitlock 6 - 1150 Bruxelles

Remerciements

Je tiens à remercier toutes les personnes qui ont contribué au bon déroulement de mon parcours à l'ICHEC/ECAM et également durant mon stage.

Tout d'abord, je tiens à remercier M. Xavier Girard pour son aide, ses précieux conseils et pour m'avoir suivi tout au long de mon stage chez IOT Factory ainsi que dans la rédaction de mon mémoire.

Bien évidemment, je remercie également fortement M. Lionel Anciaux, mon maître de stage, pour m'avoir accepté dans l'entreprise et d'avoir eu confiance en moi. Je le remercie pour le temps passé ensemble et le partage de son expertise et de tous ses conseils pour pouvoir accomplir toutes les tâches demandées durant mon stage.

Je remercie également toute l'équipe IOT Factory, en particulier M. Eric Hendrickx, M. Lorenzo Di Roma et M. Stephane Demingongo-Litemo pour leur accueil ainsi que l'aide et conseils apportés lors de la réalisation de mes tâches.

Je n'oublie pas de remercier tous les professeurs qui m'ont formé et suivi pendant ces 2 ans de master.

Enfin, je remercie toutes les personnes qui m'ont conseillé et relu lors de la rédaction de ce rapport de stage, ma famille ainsi que mes amis.

Anti-plagiat

« Je soussigné, **S.N.P., Manpreet Singh, Master Business Analyst 2022-2023**, déclare par la présente que le travail ci-joint est exempt de tout plagiat et respecte en tous points le règlement des études en matière d'emprunts, de citations et d'exploitation de sources diverses signé lors de mon inscription à l'ICHEC, ainsi que les instructions et consignes concernant le référencement dans le texte respectant la norme APA, la bibliographie respectant la norme APA, etc. mises à ma disposition sur Moodle.

Par ma signature, je certifie sur l'honneur avoir pris connaissance des documents précités et que le travail présenté est original et exempt de tout emprunt à un tiers non-cité correctement. »

16/08/2023

S.N.P. Manpreet Singh

Table des matières

1. Introduction	1
2. Méthodologie	3
3. Présentation de l'entreprise de stage.....	4
3.1. Environnement de travail.....	5
3.2. Stratégie de l'entreprise	5
3.3. Concurrences.....	6
4. Projets et missions du stage	7
4.1. Projet : Applications mobile	7
4.2. Projet : Kafka.....	9
4.3. Projet : Pivot Table	9
5. Partie théorique	11
5.1. Qu'est-ce que l'IoT ?	11
5.1.1. Histoire de l'IoT.....	12
5.2. La consommation énergétique.....	14
5.2.1. Consommation énergétique des ménages en Belgique	15
5.2.2. Les actions prises afin de réduire la consommation	22
5.3. La différence entre les compteurs et les capteurs	24
5.4. Les différents types de compteurs	25
5.4.1. Le compteur mono-horaire.....	27
5.4.2. Le compteur bi-horaire.....	28
5.4.3. Le compteur exclusif de nuit.....	29
5.4.4. Le compteur à budget.....	30
5.4.5. Le compteur intelligent	32
5.4.6. Compteur à gaz	37
5.5. Prix d'un compteur d'électricité.....	37
5.6. Les différents capteurs	38
5.6.1. Capteurs de température et thermostats intelligents	38
5.6.2. Capteurs de lumière	39
5.6.3. Capteurs d'humidité	39
5.6.4. Capteurs de qualité de l'air	40
5.6.5. Capteurs de mouvement.....	40
5.6.6. Capteurs de consommation énergétique	41
5.7. IOT dans l'enseignement.....	42
5.7.1. Avantages de l'IOT dans l'enseignement	44
5.8. La collecte, le transport, le stockage, et le traitement des données	45
5.8.1. La collecte des données.....	45
5.8.2. Le transport des données.....	45
5.8.3. Le stockage des données	51
5.8.4. L'analyse et la visualisation des données	52
5.9. Génération zéro watt	53
6. Partie réflexion	61
6.1. Situation actuelle : IOT Factory	61
6.2. Solutions.....	61
6.2.1. Audit énergétique.....	62

6.2.2.	Isolation des bâtiments.....	64
6.2.3.	Installation de capteurs de mouvements	68
6.2.4.	Installation de capteurs de température.....	72
6.2.5.	Installation de capteurs de qualité de l'air	73
6.2.6.	Interconnexion des horaires	75
6.2.7.	Éducation et sensibilisation.....	76
7.	Recommandation pour IOT Factory.....	77
8.	Limitations	79
9.	Conclusion.....	80
10.	Bibliographie	81
11.	Glossaire.....	90

Table des figures

Figure 2 - Logo de smart makers	6
Figure 1 - Logo d'energisme	6
Figure 3 - Logo : IOT Factory Mobile	7
Figure 4 - Logo : GPSTracking.ONE	7
Figure 5 - Logo : AirQuality.ONE	7
Figure 6 - Différentes vue de l'application IOT Factory Mobile	8
Figure 7 - Consommation finale par secteur en Belgique, en 2020	16
Figure 8 - Consommation dans le secteur résidentiel en Belgique, en 2020	17
Figure 9 - Désagrégation de la consommation énergétique des ménages par utilisation finale en Belgique, en 2020.....	19
Figure 10 - Consommation énergétique pour le chauffage en Belgique, en 2020	20
Figure 11 - Evolution de la consommation d'énergie par secteur et par vecteur en Wallonie	21
Figure 12 - compteur gaz	27
Figure 13 - compteur électricité	27
Figure 14 - compteur jour et nuit	29
Figure 15 - compteur gaz classique.....	30
Figure 16 - compteur à budget	31
Figure 17 - compteur électrique digital	33
Figure 18 - prise connectée	43
Figure 19 - thermostat connecté	44
Figure 20 - Schéma MQTT	47
Figure 21 - schéma ZigBee	48
Figure 22 - consommation énergie : ZigBee	49
Figure 23 - Schéma M-Bus	50
Figure 24 - schéma LoRaWan by IOT Factory	50
Figure 25 - schéma NB-IoT	51
Figure 26 - Wattmètre	55
Figure 27 - Compteur	55
Figure 28 - Ecowatt	56
Figure 29 - Capteur de détection de présence/ mouvement LoRaWan.....	72
Figure 30 - capteur de CO2, temperature, humidité,.....	74

1. Introduction

L'urgence de la crise climatique nous oblige à explorer toutes les possibilités permettant de réduire notre consommation énergétique et, par conséquent, notre empreinte carbone. À cet égard, le secteur de l'éducation, qui abrite un nombre considérable d'établissements à travers le globe, se voit attribuer un rôle majeur. En tant qu'entités publiques, les écoles sont idéalement positionnées pour guider la transition vers une utilisation plus durable et efficace de l'énergie. Il est judicieux de noter que les écoles, étant des cadres formateurs, peuvent jouer un rôle important dans la création de bonnes habitudes chez les jeunes. Ces bonnes habitudes peuvent également être reproduites à la maison devant les parents ou encore dans la future vie indépendante de chacun des élèves. Cette étude s'inscrit dans ce contexte précis, visant à examiner comment la collecte de données provenant des compteurs de gaz et d'électricité peut contribuer à la réduction de la consommation énergétique des écoles.

La consommation énergétique représente la quantité d'énergie consommée par un individu, une organisation, ou une société dans le cadre de ses activités. Elle peut prendre de nombreuses formes, telles que la consommation d'électricité pour alimenter les appareils, ou le recours au gaz pour le chauffage. La quantité d'énergie consommée et la façon dont elle est utilisée ont une incidence directe sur l'environnement, principalement en raison des émissions de gaz à effet de serre. Dans cette optique, afin de réduire cet impact, il est primordial de diminuer la consommation énergétique et de favoriser une utilisation plus efficace de l'énergie.

Cette étude se pose donc la question suivante : « **Comment la collecte des données des compteurs de gaz et d'électricité peut aider les écoles à réduire leurs consommations énergétiques ?** ». Pour répondre à cette question, il sera nécessaire d'examiner les types de données collectées, les méthodes de collecte et d'analyse, et comment ces informations peuvent être utilisées pour identifier des moyens d'économiser de l'énergie.

Plusieurs hypothèses peuvent être formulées à ce stade :

- Hypothèse 1 : Les données provenant des compteurs de gaz et d'électricité dans les écoles pourrait potentiellement fournir une connaissance en temps réel de leur consommation énergétique. Une telle approche présenterait l'avantage d'identifier des tendances, des pics de consommation ou encore des pratiques inefficaces en matière d'utilisation de l'énergie.
- Hypothèse 2 : Ces données pourraient être utilisées comme fondement dans le développement de systèmes de gestion de l'énergie plus sophistiqués. Ces systèmes pourraient être conçus dans le but de réguler de manière optimale la consommation d'énergie dans les établissements scolaires, en prenant en compte les besoins réels de ces derniers.

- Hypothèse 3 : La collecte de ces données pourrait susciter une prise de conscience chez les différents acteurs de l'école, tels que les étudiants, les enseignants et le personnel administratif, quant à leur consommation d'énergie. Cette sensibilisation pourrait ainsi contribuer à la création d'une culture d'économie d'énergie.
- Hypothèse 4 : L'exploitation de l'intelligence artificielle dans l'analyse des données de consommation d'énergie collectées par les compteurs de gaz et d'électricité pourrait permettre d'anticiper les tendances de consommation et de détecter automatiquement les opportunités d'économies d'énergie. Ces systèmes d'IA pourraient même prendre des décisions automatisées afin d'optimiser la consommation d'énergie, telles que l'ajustement des paramètres de chauffage ou de refroidissement en fonction des prévisions météorologiques ou de l'affluence d'élèves.

Ces hypothèses, ainsi que d'autres qui pourraient émerger au cours de l'étude, seront étudiées et testées au cours de cette recherche.

Il est important de préciser que le sujet de ce travail est arrivé à moi grâce à mon maître de stage qui est également le CEO de l'entreprise IOT Factory. En effet, les établissements scolaires sont d'importants consommateurs d'énergie. Il a donc été pertinent de choisir cette thématique pour envisager des solutions qui vont permettre aux écoles de réduire leurs consommations énergétiques et également pour encourager IOT Factory à développer des solutions innovantes pour les écoles.

Par ce travail, le but recherché est de contribuer à une meilleure compréhension de la façon dont la collecte de données peut aider les écoles à faire un pas vers une utilisation davantage responsable et durable de l'énergie.

2. Méthodologie

L'objectif principal de ce travail est d'examiner comment la collecte des données des compteurs de gaz et d'électricité peut aider les écoles à minimiser leurs consommations énergétiques et également à aider le personnel et les élèves à adopter de nouvelles bonnes habitudes.

Pour ce faire, au départ, une approche théorique sera adoptée pour comprendre qu'est-ce que l'IOT et la consommation énergétique ? Par la suite, un point sera fait pour analyser comment l'IOT contribue dans l'enseignement et quels sont les avantages de ceux-ci, nous rentrerons également dans le détail des compteurs ainsi que des capteurs pour examiner leurs différences et leurs types. Nous aborderons de près une solution/un challenge qui a déjà été mis en place pour aider les écoles à réduire leurs consommations énergétiques et nous finirons par l'analyse de la collecte, le stockage, le transport et le traitement des données issues des compteurs et capteurs énergétiques.

Ensuite, une approche pratique sera réalisée pour élaborer des solutions pertinentes pour les écoles afin de les aider à minimiser leurs empreintes énergétiques. Il est judicieux de préciser que les solutions seront proposées sur base d'échanges informels avec des experts en IOT, de plusieurs discussions avec des experts en construction (énergie et électricité) et de recherches scientifiques.

Pour finir, des recommandations seront proposées à l'entreprise IOT Factory. De plus, un point sera fait sur les limitations de cette recherche et par la suite, une conclusion clôturera ce travail.

3. Présentation de l'entreprise de stage

IOT Factory¹ est une entreprise innovante qui se concentre sur le développement et la commercialisation de solutions intelligentes basées sur l'Internet des Objets (IoT). La société est basée en Belgique, mais opère à l'échelle internationale, fournissant des solutions technologiques avancées pour une variété de secteurs.

Le principal objectif d'IOT Factory est de fournir des solutions IoT robustes et personnalisées qui répondent aux besoins spécifiques de chaque client. Pour cela, l'entreprise a développé une plateforme logicielle IoT qui permet de gérer facilement des milliers d'appareils connectés, de collecter et d'analyser des données en temps réel et de contrôler les processus d'affaires. Cette plateforme est capable d'intégrer diverses technologies de connectivité IoT, comme LoRaWAN, NB-IoT, SigFox, entre autres.

En outre, IOT Factory propose une gamme de capteurs IoT qui peuvent être utilisés pour surveiller divers paramètres, comme la température, l'humidité, la pression et la consommation d'énergie. Ces capteurs peuvent être intégrés dans divers environnements, y compris les bâtiments scolaires, pour recueillir des données en temps réel qui peuvent ensuite être utilisées pour optimiser la consommation d'énergie et d'autres processus.

IOT Factory est également engagée dans la recherche et le développement et collabore avec divers partenaires pour explorer de nouvelles applications de la technologie IoT. La société a une approche centrée sur le client, travaillant en étroite collaboration avec ses clients pour comprendre leurs besoins et développer des solutions sur mesure.

IOT Factory se focalise sur le smart metering et l'asset tracking en offrant différents capteurs faciles et rapides à installer.

Le **smart metering** est un processus qui via des capteurs va permettre de collecter des données énergétiques à distance dans le but de surveiller et contrôler les flux.

Ce processus est souvent utilisé pour pouvoir capturer la qualité de l'air, de l'eau, du gaz, de l'électricité, ... Celui-ci permet de contrôler et d'avoir plus d'informations sur les énergies consommées. Il existe d'autres capteurs qui permettent de connaître le niveau d'eau ou de fioul dans différentes citernes. Ainsi, il est possible d'avoir un historique de la température en fonction de l'heure et voir lorsqu'elle a dépassé un certain degré.

L'**asset tracking** est un processus qui permet de suivre une balise GPS, BLE, LoRa ou RFID grâce à un emplacement diffusé par des capteurs.

¹ IOT Factory. (2023, 19 mai). *Smart Metering & Asset Tracking - IOT Factory*. Consulté le 9 juin 2023, à l'adresse <https://iotfactory.eu/>

Le tracking d'assets permet de récupérer des données ainsi que des positions GPS de différents capteurs. Les capteurs peuvent être placés dans des machines, des outils, des équipements, des camions, des livraisons, sur des humains, des animaux domestiques ou encore sur le bétail.

Les différents capteurs que propose IOT Factory permettent d'avoir un système de contrôle et de monitoring grâce à une **plateforme web** et différentes **applications mobiles**.

Les domaines dans lesquels les capteurs sont le plus souvent utilisés sont les suivants : la construction, les industries, les smart buildings, ...

Les principaux clients d'IOT Factory sont des entreprises intéressées par l'internet des objets ou des start-ups.

Dans le cadre de cette recherche, IOT Factory offre un cadre de travail idéal pour explorer comment la technologie IoT, et en particulier la collecte de données des compteurs de gaz et d'électricité, peut être utilisée pour aider les écoles à réduire leur consommation énergétique.

3.1. Environnement de travail

IOT Factory est une petite entreprise avec une équipe composée de développeurs back-end, développeurs front-end, designers graphiques et encore d'autres départements, qui sont tous en charge du développement de la plateforme IOT Factory. Ainsi, les différents collaborateurs guident les clients et les partenaires à développer leurs projets.

Depuis le début de la crise sanitaire, toute l'équipe d'IOT Factory a commencé à travailler en télétravail. Cela n'a pas eu un effet négatif car l'entreprise avait déjà mis en place un environnement de travail qui s'adapte facilement selon les besoins des collaborateurs.

Cependant, l'entreprise essaye de passer en mode présentiel quelques jours par semaine pour revoir les collègues et changer d'environnement de travail.

3.2. Stratégie de l'entreprise

La plateforme logicielle IOT est une pratique digitale qui permet à l'entreprise de se différencier sur le marché. Il s'agit d'une plateforme qui récolte toutes les données via les capteurs pour proposer des solutions intelligentes aux clients à travers des tableaux de bord, des rapports, des alertes, des droits d'accès avancés, ... qui sont disponible sur le web et le mobile. Les solutions seront adaptées en fonction des besoins des clients.

Les clients peuvent recevoir sur cette plateforme des alertes en fonction des données récoltées auparavant. Ces alertes peuvent être en temps réel ou sur une fréquence définie par le client.

Une fois que les capteurs renvoient les données, celles-ci doivent être traitées car les informations reçues ne sont pas directement pertinentes. Il est donc possible d'appliquer des formules, des agrégations et des calculs pour le traitement de données. Ainsi, IOT Factory propose une interface automatisée pour ce processus.

De ce fait, l'entreprise crée de la valeur en personnalisant son interface pour chaque client, ceux-ci ont donc leurs propres environnements. Les différentes données affichées sur la plateforme seront différentes pour chacun d'entre eux.

En effet, sur la plateforme web, le client est représenté par une solution. Dans cette dernière, le client peut posséder une ou plusieurs teams. Grâce à l'assistance d'IOT Factory, chaque team peut personnaliser sa couleur et son logo sur la plateforme.

En plus de cela, le client peut créer des tableaux de bord dans lesquels il a la possibilité d'ajouter des graphes (line chart, bar chart, ...), des lignes du temps, des plans avec la position des différents capteurs ou bien des positions statiques comme par l'exemple leur bureau, domicile, ...

3.3. Concurrences

Voici les principaux concurrents d'IOT Factory offrant des solutions IOT innovantes :



Figure 1 - Logo de smart makers



Figure 2 - Logo d'energisme

4. Projets et missions du stage

4.1. Projet : Applications mobile

IOT Factory propose 3 applications mobiles à leurs clients :

- AirQuality.ONE : est une application qui est dédiée aux projets smart metering.
- GPSTracking.ONE : est une application qui se concentre principalement aux projets d'assets tracking.
- IOT Factory Mobile : il s'agit d'une application générale qui regroupe toutes les fonctionnalités de *AirQuality.ONE* et *GPSTracking.ONE*.



Figure 5 - Logo : AirQuality.ONE



Figure 4 - Logo : GPSTracking.ONE



Figure 3 - Logo : IOT Factory Mobile

Ces applications permettent aux utilisateurs, en fonction des droits d'accès, de visionner toutes les données des capteurs envoyant des informations.

Elles sont disponibles sur l'App Store et le Play Store.

IOT Factory Mobile propose 4 interfaces différentes pour les différents besoins des utilisateurs :

- La vue **admin** permettant la gestion de différentes entités existante c'est-à-dire : devices, assets, données calculées, alertes, ...

Cette vue comprend un tableau de bord sur lequel le nombre de devices, assets et smartdevices active ou inactive sont affichés. Les entités favorites peuvent également être ajoutées sur le tableau de bord par les utilisateurs.

Cette vue est actuellement indisponible sur les applications mobiles.

- La vue **metering** convient mieux aux projets de Smart Metering. Dans cette vue, l'utilisateur peut visualiser tous ses assets avec les dernières mesures reçues depuis les capteurs...

Il existe d'autres pages dans cette vue permettent à l'utilisateur de visualiser les données sous différentes formes et dans un intervalle de temps plus précis par exemple l'affichage des consommations par jour, semaine ou mois.

De plus, il est possible de visionner une page qui serait dédiée aux alertes et une autre au profil d'un asset.

- La vue **tracking** permet de localiser sur un plan (map) la dernière position de l'asset. Il est également possible de tracer tout le trajet d'un asset ou bien encore d'afficher le temps que l'asset à passer dans une zone de geofencing².

En plus de la localisation, d'autres pages sont disponibles comme :

- Le détail des mesures sous forme de graphique ;
 - Les dernières alertes de l'asset ;
 - Le profil de l'asset avec des informations spécifiques.
- La vue **map** affiche tous les assets de l'utilisateur sur un plan. Les zones de geofencing peuvent aussi être ajoutées une à la fois selon le désir de l'utilisation.

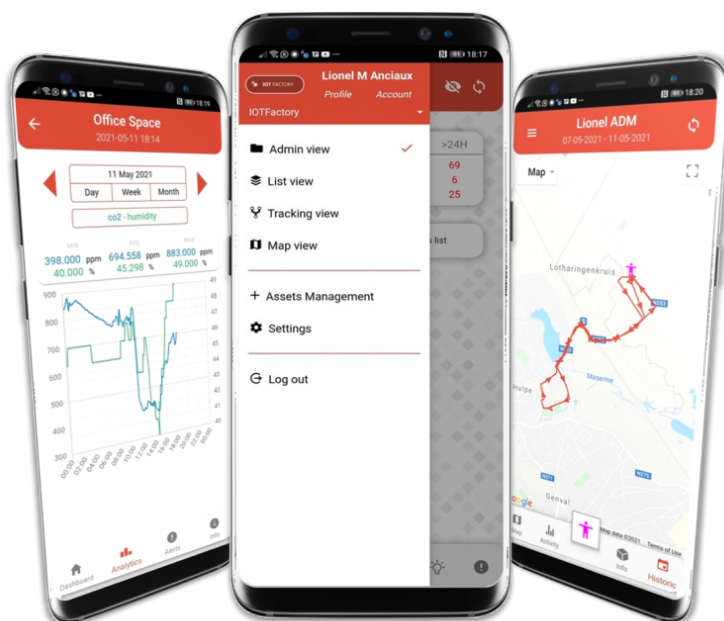


Figure 6 - Différentes vue de l'application IOT Factory Mobile

Source: IOT Factory. (2023, 19 mai). *Smart Metering & Asset Tracking - IOT Factory*. Consulté le 9 juin 2023, à l'adresse <https://iotfactory.eu/>

Ainsi, le projet consiste à améliorer les applications mobiles d'IOT Factory dans le but d'offrir des expériences les plus satisfaisantes aux clients.

² C'est une zone virtuelle autour d'un emplacement sur un plan.

4.2. **Projet : Kafka**

Au cours de mon stage, j'ai été chargé de mettre en place un système de gestion des flux de données basé sur Apache Kafka. L'objectif principal de ce projet était de créer une infrastructure robuste et résiliente pour éviter la perte de données lors de la transmission et du traitement des informations.

Apache Kafka est une plateforme de streaming de données distribuée qui peut gérer des flux de données en temps réel. Elle est spécialement conçue pour gérer des volumes de données massifs et offrir une latence faible, ce qui en fait une solution idéale pour des applications nécessitant une grande rapidité et une fiabilité élevée.

Dans le cadre de mon projet, j'ai travaillé à la mise en œuvre de Kafka, en commençant par l'installation et la configuration du logiciel, jusqu'à la gestion de la production de messages et leur consommation.

En utilisant Kafka, nous avons pu créer un système où chaque donnée est immédiatement transmise et stockée de manière sécurisée, minimisant ainsi le risque de perte de données. Cela a non seulement renforcé la résilience de notre infrastructure de données, mais a également permis d'améliorer l'efficacité globale de notre système de traitement des données.

Ce projet m'a permis d'acquérir une précieuse expérience pratique avec les technologies de streaming de données et m'a offert l'opportunité d'apporter une contribution significative à l'amélioration de l'infrastructure de l'entreprise.

4.3. **Projet : Pivot Table**

Un autre projet durant mon stage consistait à mettre en place un module « pivot table » afin de gérer et d'analyser efficacement une grande quantité de données. Ce module, souvent utilisé dans les outils de business intelligence, offre à l'utilisateur la possibilité de manipuler et de réorganiser les données de manière interactive, facilitant ainsi la visualisation et l'analyse des tendances, des modèles et des insights.

Pour réaliser ce projet, j'ai d'abord dû comprendre en profondeur la structure et la nature des données auxquelles nous avions affaire. Cela m'a permis d'identifier les clés et les valeurs qui seraient les plus utiles à inclure dans la table pivot. J'ai ensuite travaillé à la conception et à l'implémentation du module, en veillant à ce qu'il puisse gérer efficacement la grande quantité de données recueillies, tout en offrant une interface utilisateur intuitive.

Une fois le module « pivot table » mis en place, l'utilisateur a été en mesure de manipuler les données en pivotant les variables, permettant ainsi une analyse

multidimensionnelle des informations. Ce module a grandement amélioré notre capacité à interpréter et à comprendre les tendances sous-jacentes dans nos données. Il a également permis à l'utilisateur de personnaliser l'analyse en fonction de ses besoins spécifiques, rendant ainsi l'ensemble du processus d'analyse des données plus flexible et plus puissant.

5. Partie théorique

5.1. Qu'est-ce que l'IoT ?

L'expression « Internet des Objets » (ou IoT pour « Internet of Things » en anglais) fait référence au grand nombre d'appareils physiques à travers le monde qui sont actuellement reliés à internet, dans le but de collecter et partager des données. Ces appareils sont équipés de capteurs, de logiciels et d'autres technologies qui leur permettent d'échanger des informations avec d'autres dispositifs et systèmes via Internet. Ils peuvent aller du simple appareil domestique aux systèmes industriels sophistiqués.³

Par conséquent, le terme « IoT » englobe une vaste gamme de types de dispositifs, comprenant, sans toutefois s'y limiter :

- Les appareils domestiques connectés tels que les thermostats, les systèmes de sécurité, les réfrigérateurs, et autres.
- Les montres intelligentes, les appareils de suivi de fitness, et autres technologies portables.
- Les systèmes de suivi d'inventaire pour les entreprises.
- Les appareils et systèmes industriels sophistiqués, comme ceux utilisés dans la production ou l'agriculture.

Les systèmes IoT offrent plusieurs applications pratiques, que ce soit pour les particuliers ou les entreprises. Par exemple, dans une maison, un thermostat connecté à l'IoT peut connaître les préférences du consommateur en matière de température et régler la température de la maison en conséquence, ce qui permet d'économiser à la fois de l'énergie et de l'argent.

De la même manière, dans le domaine des affaires, l'usage d'un système de suivi des stocks connecté à l'IoT pourrait être bénéfique pour la gestion efficiente des stocks, en prévenant les pénuries ou les excédents de stocks.

Toutefois, l'IoT pose également des défis, en particulier en matière de sécurité et de confidentialité des données. Étant donné que ces appareils sont connectés à Internet, ils peuvent s'exposer à de potentielles attaques de pirates informatiques si aucune mesure de sécurité adéquate n'est en place.⁴

³ *Qu'est ce que l'Internet des objets.* (s. d.). Consulté le 23 juin 2023, à l'adresse <https://actualiteinformatique.fr/internet-of-things-iot/quest-ce-que-iot-internet-of-things-internet-des-objets>

⁴ *Sécurité de l'IoT (sécurité de l'internet des objets).* (2020, 29 avril). Consulté le 2 août 2023, à l'adresse <https://actualiteinformatique.fr/cybersecurite/securite-de-liot-securite-de-linternet-des-objets>

De plus, puisque ces appareils collectent et partagent souvent une quantité de données considérable, il est essentiel que les entreprises qui utilisent l'IoT se conforment aux critères de réglementations relatives à la protection des données et à la confidentialité.⁵

En outre, l'IoT engendre des problématiques environnementales. Par exemple, les appareils connectés engendrent la consommation de ressources naturelles lorsqu'ils sont fabriqués, consomment de l'énergie lors de leur utilisation, et produisent des déchets lorsqu'ils sont jetés.⁶

En somme, il est indéniable que l'IoT détient le potentiel de révolutionner considérablement divers aspects de notre quotidien et de notre travail. Toutefois, il est impératif de relever les défis qu'il suscite afin de l'exploiter de manière responsable et optimale.

5.1.1. Histoire de l'IoT

L'Internet des objets a été initialement conceptualisé en 1999 par Kevin Ashton lors d'une présentation chez Procter & Gamble. Cependant, il convient de noter que l'idée de dispositifs connectés remonte aux années 1970. En effet, dès le début des années 1980, une machine à Coca-Cola connectée avait été développée à l'Université Carnegie Mellon. Grâce à la connectivité Internet, les développeurs pouvaient superviser à distance l'état de la machine afin de déterminer la disponibilité d'une boisson fraîche.⁷

Avec l'avènement des technologies sans fil telles que le Wifi, les systèmes micro électromécaniques (MEMS) et l'Internet, l'IoT a connu une croissance fulgurante. Cette expansion a permis une convergence entre les domaines de la technologie opérationnelle (OT) et de la technologie de l'information (IT). Par conséquent, les données non structurées générées par les machines peuvent désormais être analysées en vue d'apporter des améliorations significatives.⁸

La connectivité Machine-to-Machine (M2M) constitue le fondement de l'Internet des objets dans lequel les machines peuvent se connecter entre elles via un réseau, sans aucune intervention humaine. En conséquence, l'IoT s'est transformé en un réseau

⁵ *Sécurité de l'IoT (sécurité de l'internet des objets)*. (2020, 29 avril). Consulté le 2 août 2023, à l'adresse <https://actualiteinformatique.fr/cybersecurite/securite-de-liot-securite-de-linternet-des-objets>

⁶ *Quelle pollution le numérique entraîne-t-il sur l'environnement*. (s. d.). Consulté le 2 août 2023, à l'adresse <https://www.ecoconso.be/fr/content/quelle-pollution-le-numerique-entraine-t-il-sur-lenvironnement>

⁷ *Qu'est ce que l'Internet des objets*. (s. d.). Consulté le 23 juin 2023, à l'adresse <https://actualiteinformatique.fr/internet-of-things-iot/quest-ce-que-iot-internet-of-things-internet-des-objets>

⁸ *Qu'est ce que l'Internet des objets*. (s. d.). Consulté le 23 juin 2023, à l'adresse <https://actualiteinformatique.fr/internet-of-things-iot/quest-ce-que-iot-internet-of-things-internet-des-objets>

massif de capteurs, reliant des individus, des systèmes et d'autres applications pour la collecte et le partage de données.⁹

L'émergence du concept d'écosystème de l'IoT s'est concrétisée dans les années 2010, en grande partie grâce à l'engagement stratégique du gouvernement chinois envers l'IoT. La Chine a spécifiquement utilisé l'IoT dans sa stratégie de reconnaissance faciale et de profilage de la population.¹⁰

Depuis lors, l'IoT n'a cessé de se développer et de se diversifier, avec une gamme croissante d'applications, en passant par des appareils électroménagers connectés ou des montres intelligentes mais aussi des systèmes industriels sophistiqués et des réseaux de capteurs environnementaux. Le marché de l'Internet of Things est en plein essor. Le nombre d'objets connectés est amené à dépasser le cap des 3,2 milliards en 2023¹¹.

L'avènement de l'Internet des objets a engendré une nouvelle forme d'intelligence, ouvrant ainsi de nouvelles perspectives. Grâce à l'adoption généralisée de technologies telles que le GPS et les capteurs intelligents, nous avons pénétré dans une ère où les ordinateurs peuvent fonctionner de manière quasiment autonome.¹²

Le GPS constitue un exemple remarquable de l'impact de ces avancées technologiques. Initialement approuvé pour une utilisation civile par le Congrès américain en 2000, le GPS est désormais omniprésent. Il est devenu notre guide et notre repère, nous permettant de nous situer presque partout où nous allons.¹³

Mais ce n'est que le début. Dans un avenir proche, il sera envisageable d'utiliser des véhicules autonomes qui, grâce à des capteurs, se déplaceront et interagiront entre eux. Cette avancée permettra d'économiser plusieurs jours de conduite annuels et, potentiellement, de sauver des dizaines de milliers de vies chaque année en réduisant le nombre d'accidents sur la route. L'adoption de ces véhicules autonomes pourrait

⁹ *Qu'est ce que l'Internet des objets.* (s. d.). Consulté le 23 juin 2023, à l'adresse <https://actualiteinformatique.fr/internet-of-things-iot/quest-ce-que-iot-internet-of-things-internet-des-objets>

¹⁰ *Qu'est ce que l'Internet des objets.* (s. d.). Consulté le 23 juin 2023, à l'adresse <https://actualiteinformatique.fr/internet-of-things-iot/quest-ce-que-iot-internet-of-things-internet-des-objets>

¹¹ *L'impact de la 5G sur les objets connectés.* (s. d.). Consulté le 28 juin 2023, à l'adresse <https://www2.stardust-testing.com/blog-fr/limpact-de-la-5g-sur-les-objets-connectes>

¹² Cam, M. L. (2018, 27 décembre). *Connaissez-vous l'histoire de l'Internet of Things ?* | NTT DATA Business Solutions France. NTT DATA Business Solutions France. Consulté le 22 juin 2023, à l'adresse <https://nttdata-solutions.com/fr/blog/connaissez-vous-lhistoire-de-linternet-of-things/>

¹³ Cam, M. L. (2018, 27 décembre). *Connaissez-vous l'histoire de l'Internet of Things ?* | NTT DATA Business Solutions France. NTT DATA Business Solutions France. Consulté le 22 juin 2023, à l'adresse <https://nttdata-solutions.com/fr/blog/connaissez-vous-lhistoire-de-linternet-of-things/>

ainsi permettre d'éviter plus d'un million d'accidents sur une période de 50 ans, selon les estimations¹⁴.

Aujourd'hui, une vaste gamme de capteurs techniques est disponible, permettant la détection de divers états d'objets en mouvement ou immobiles, à des coûts relativement abordables. Parmi ces capteurs, les plus utilisés sont ceux qui mesurent la température, la luminosité, la pression, l'humidité et la pollution par la poussière dans différents environnements. De plus, il existe des capteurs capables de détecter le frottement et les écoulements dans les moteurs et autres structures creuses, ainsi que des capteurs de position, d'accélération et de choc pour suivre le déplacement des objets.

L'utilisation conjointe de la détection d'objets par caméra et des réseaux neuronaux artificiels¹⁵ est une percée prometteuse dans le domaine. Dans ce contexte, le capteur joue le rôle d'une source d'informations visuelles qui peut être analysée et évaluée à l'aide d'algorithmes intelligents. Conformément à un article récent d'Ayoosh Katuria sur "What's new in YOLO v3"¹⁶, cette approche a un potentiel considérable.

Les progrès réalisés dans le domaine d'IoT, de GPS et de capteurs ouvrent la porte à une ère nouvelle d'intelligence. À mesure que les découvertes et les développements dans ces technologies se poursuivent, il est raisonnable de prévoir l'émergence de nouvelles applications et l'amélioration de la qualité de vie dans de multiples domaines.

5.2. La consommation énergétique

La consommation d'énergie fait référence à l'utilisation d'énergie par des individus, des ménages, des entreprises, des écoles ou encore des pays afin de réaliser différentes activités et de répondre à leurs besoins. L'énergie peut notamment être employée pour alimenter des machines, chauffer et refroidir des édifices, produire de la lumière, cuisiner, ou encore se déplacer.¹⁷

Les sources d'énergie varient, allant des combustibles fossiles tels que le pétrole, le gaz naturel et le charbon, aux énergies renouvelables comme l'énergie solaire,

¹⁴ Cam, M. L. (2018, 27 décembre). *Connaissez-vous l'histoire de l'Internet of Things ?* | NTT DATA Business Solutions France. NTT DATA Business Solutions France. Consulté le 22 juin 2023, à l'adresse <https://nttdata-solutions.com/fr/blog/connaissez-vous-lhistoire-de-linternet-of-things/>

¹⁵ « Ensemble de neurones formels interconnectés permettant la résolution de problèmes complexes tels que la reconnaissance des formes ou le traitement du langage naturel, grâce à l'ajustement des coefficients de pondération dans une phase d'apprentissage » De Futura, L. R. (s. d.). *Réseau neuronal : Qu'est-ce que c'est ?* Futura. Consulté le 2 août 2023, à l'adresse <https://www.futura-sciences.com/tech/definitions/informatique-reseau-neuronal-601/>

¹⁶ Kathuria, A. (2018, 4 juillet). What's new in YOLO V3 ? - Towards data science. *Medium*. Consulté le 22 juin 2023, à l'adresse <https://towardsdatascience.com/yolo-v3-object-detection-53fb7d3bfe6b>

¹⁷ *Consommation d'énergie : définition*. (s. d.). Climamaison. Consulté le 15 juin 2023, à l'adresse <https://www.climamaison.com/lexique/consommation-d-energie.htm>

éolienne, hydroélectrique, géothermique et biomasse, ainsi que l'énergie nucléaire. La consommation d'énergie entraîne des répercussions sur l'environnement, l'économie et la société, en fonction des sources d'énergie utilisées et de la manière dont elles sont consommées.¹⁸

L'unité de mesure représentant la consommation d'énergie est le kilowattheure (kWh). Pour comparer la consommation énergétique d'un logement, l'unité utilisée est le kWh/m²/an.¹⁹

5.2.1. Consommation énergétique des ménages en Belgique

Lors de la conférence sur les changements climatiques (COP26)²⁰ qui s'est tenue en novembre 2021, près de 200 pays, y compris les États membres de l'Union européenne, se sont rassemblés au Royaume-Uni dans le but d'accélérer la mise en œuvre des objectifs de l'Accord de Paris de 2015, qui vise à limiter le réchauffement climatique à 1,5 °C. Dans le cadre de cette initiative, la Commission européenne a lancé son « pacte vert pour l'Europe », appelant les États membres à atteindre la neutralité carbone d'ici à 2050.²¹

En réponse, la Belgique a élaboré un Plan national Énergie-Climat 2021-2030, qui établit les orientations nécessaires à une transition vers un système énergétique plus durable, fiable et abordable. Ce plan met en évidence la nécessité de diminuer la consommation énergétique dans de nombreux secteurs économiques, plus particulièrement le secteur résidentiel, qui selon l'étude du SPF Économie, représentait 21% de la consommation énergétique totale en Belgique en 2020.²²

¹⁸ XPair. (s. d.). *Consommation d'énergie - définition*. XPair. Consulté le 15 juin 2023, à l'adresse <https://www.xpair.com/lexique/definition/consommation-energie.htm>

¹⁹ XPair. (s. d.). *Consommation d'énergie - définition*. XPair. Consulté le 15 juin 2023, à l'adresse <https://www.xpair.com/lexique/definition/consommation-energie.htm>

²⁰ COP26 désigne la conférence des Nations Unies sur les changements climatiques, tenue à Glasgow en 2021. Elle a abouti à l'adoption du pacte de Glasgow après des délibérations intenses. United Nations. (s. d.). *COP26 : Ensemble pour notre planète | Nations unies*. Consulté le 15 juin 2023, à l'adresse <https://www.un.org/fr/climatechange/cop26>

²¹ *Un pacte vert pour l'Europe*. (s. d.). Commission européenne. Consulté le 7 août 2023, à l'adresse https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_fr

²² *Analyse de la consommation énergétique des ménages en Belgique en 2020*. (2022, 21 juin). SPF Économie. Consulté le 15 mai 2023, à l'adresse <https://economie.fgov.be/fr/publications/analyse-de-la-consommation-0>

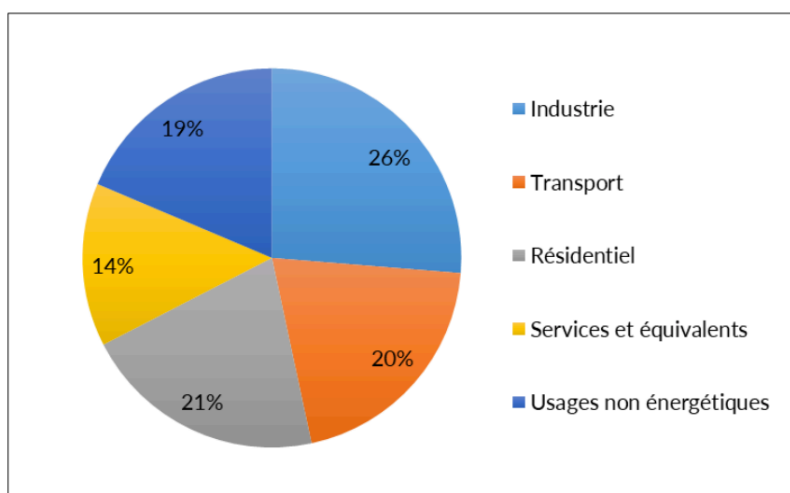


Figure 7 - Consommation finale par secteur en Belgique, en 2020

Source : *Analyse de la consommation énergétique des ménages en Belgique en 2020*. (2022, 21 juin). SPF Economie. Consulté le 15 mai 2023, à l'adresse <https://economie.fgov.be/fr/publications/analyse-de-la-consommation-0>

Étant donné que l'étude ne fournit pas de détails sur la consommation énergétique dans les écoles, dans cette partie, nous nous concentreront sur le secteur résidentiel uniquement. Face à l'absence de données détaillées sur la consommation énergétique des écoles, la focalisation sur le secteur résidentiel est justifiée par certaines similitudes, comme la nécessité de maintenir une température de confort et des activités majoritairement sédentaires. Néanmoins, des distinctions clé, telles que les horaires d'occupation variés, la densité d'occupants, la nature des bâtiments et l'utilisation d'équipements divers, rendent la comparaison entre les deux secteurs complexe. Ce choix vise ainsi à garantir une analyse rigoureuse et approfondie basée sur les informations disponibles.

Une autre étude révèle que, en Wallonie, la consommation énergétique du secteur de l'enseignement représente 14% de la consommation du secteur tertiaire, qui à son tour constitue 11% de la consommation énergétique globale de la Wallonie. Par conséquent, la consommation énergétique du secteur de l'enseignement est estimée à 1,5% de la consommation énergétique totale de la Wallonie.²³

En 2020, la consommation d'énergie du secteur résidentiel belge était essentiellement basée sur les énergies fossiles, avec 39% de gaz naturel et 30% de mazout. Le propane-butane (2%) et le charbon (moins de 1%) étaient également utilisés. Ces sources d'énergie contribuent aux émissions de carbone. Pour réduire ces émissions, il est envisageable de diminuer la consommation d'énergie par le biais d'améliorations

²³ Leonard, G. (2022a, mai 10). *Consommation d'énergie et émissions carbone dans les écoles - Energie Plus le site*. Energie Plus Le Site. Consulté le 7 août 2023, à l'adresse <https://energieplus-le-site.be/gerer/energie-et-consommations/consommation-denergie-et-des-emissions-carbone-dans-les-ecoles/>

d'efficacité énergétique et de changements comportementaux, mais aussi de se diriger davantage vers des sources d'énergie décarbonées.²⁴

Les énergies renouvelables ne représentent encore qu'une infime part de la consommation d'énergie des ménages belges : 6% pour la biomasse, seulement 0,3% pour le solaire thermique et 1% pour la chaleur ambiante via les pompes à chaleur ainsi que la géothermie. L'électricité, quant à elle, représente 20% de la consommation d'énergie du secteur résidentiel belge, une partie étant « bas carbone », produite à partir d'énergie nucléaire ou renouvelable.²⁵

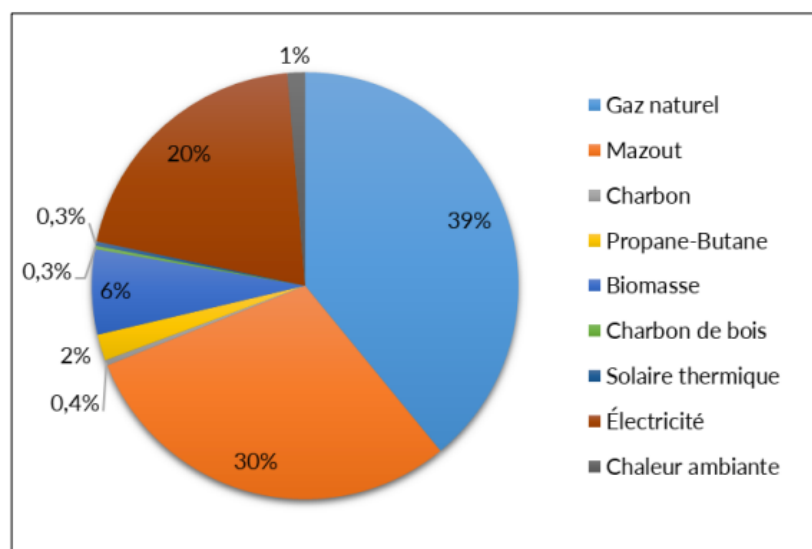


Figure 8 - Consommation dans le secteur résidentiel en Belgique, en 2020

Source : *Analyse de la consommation énergétique des ménages en Belgique en 2020*. (2022, 21 juin). SPF Economie. Consulté le 15 mai 2023, à l'adresse <https://economie.fgov.be/fr/publications/analyse-de-la-consommation-0>

Les préférences en matière de chauffage varient d'une région à l'autre en Belgique (Bruxelles, Flandre et Wallonie), ce qui entraîne des profils énergétiques distincts. La plupart des ménages bruxellois et flamands utilisent le gaz naturel comme source de chauffage, tandis qu'un nombre significatif de ménages wallons utilisent le mazout en raison de l'absence de réseau de distribution de gaz naturel dans certaines villes wallonnes. Par conséquent, les ménages wallons se tournent vers d'autres sources d'énergie, telles que le mazout, l'électricité, la biomasse ou le propane.

En ce qui concerne les systèmes de chauffage, les logements sont équipés de différentes options, notamment le chauffage central ou d'autres types de chauffage fixes (poêles, cheminées, etc.). Le chauffage central peut fonctionner à l'aide de radiateurs ou de systèmes de chauffage par le sol, les murs ou l'air.

²⁴ *Analyse de la consommation énergétique des ménages en Belgique en 2020*. (2022, 21 juin). SPF Economie. Consulté le 15 mai 2023, à l'adresse <https://economie.fgov.be/fr/publications/analyse-de-la-consommation-0>

²⁵ *Analyse de la consommation énergétique des ménages en Belgique en 2020*. (2022, 21 juin). SPF Economie. Consulté le 15 mai 2023, à l'adresse <https://economie.fgov.be/fr/publications/analyse-de-la-consommation-0>

Avec l'introduction des labels énergétiques²⁶ belges pour les systèmes de chauffage, les ménages équipés d'un chauffage central au gaz naturel ou au mazout ont la possibilité de choisir une chaudière labellisée. Ces chaudières labellisées, à savoir les chaudières à condensation et les chaudières à haut rendement, sont plus efficaces et moins polluantes car elles consomment beaucoup moins d'énergie que les chaudières plus anciennes.

La chaudière à condensation et la chaudière à haut rendement sont les deux seuls types de chaudières labellisées spécifiquement conçues pour améliorer l'efficacité énergétique et diminuer la consommation de combustible par rapport aux chaudières traditionnelles.

- Chaudière à condensation : Les chaudières à condensation se distinguent par leur grande efficacité, qui repose sur la récupération de la chaleur perdue sous forme de vapeur d'eau contenue dans les gaz de combustion. Lorsque ces gaz se refroidissent, la vapeur d'eau se condense et libère une chaleur supplémentaire. Cette chaleur récupérée est ensuite utilisée pour chauffer l'eau de retour du système de chauffage, ce qui accroît l'efficacité globale de la chaudière. Grâce à ce procédé, les chaudières à condensation peuvent atteindre un rendement énergétique allant de 90% à 98%, permettant ainsi de réduire la consommation d'énergie et les émissions de gaz à effet de serre.
- Chaudières à haut rendement : Les chaudières à haut rendement, également appelées chaudières à basse température, sont des dispositifs de chauffage conçus pour fonctionner à des températures d'eau plus faibles que les chaudières traditionnelles. Comparées aux chaudières conventionnelles, elles présentent une meilleure efficacité énergétique, bien que généralement inférieure à celle des chaudières à condensation. En effet, les chaudières à haut rendement affichent typiquement un taux d'efficacité énergétique de 85% à 90%. Cette performance est obtenue grâce à leur fonctionnement à des températures d'eau plus basses, ce qui réduit les pertes de chaleur et améliore ainsi leur rendement. Cependant, contrairement aux chaudières à condensation, elles n'effectuent pas de récupération de chaleur à partir des gaz de combustion.

En 2020, la part du chauffage dans la consommation d'énergie des ménages s'est élevée à 73%. Il convient de noter que cette proportion peut varier en fonction des conditions climatiques. Les autres usages de l'énergie dans les ménages se répartissent comme suit :

²⁶ Les appareils de chauffage sont soumis à une réglementation concernant leur efficacité énergétique. Pour aider les consommateurs à faire des choix éclairés en matière de consommation d'énergie. *Le label énergétique des nouvelles installations.* (2022, 14 janvier). Informazout. Consulté le 7 août 2023, à l'adresse <https://informazout.be/fr/installation/remplacer/labels/label-energetique-nouvelles-installations>

- L'éclairage et les appareils électriques représentent 13% de la consommation énergétique totale.
- Le chauffage de l'eau contribue à hauteur de 12% de la consommation d'énergie.
- La cuisine utilise 2% de la consommation d'énergie.

Ces données mettent en évidence le fait que le chauffage constitue de loin la principale source de consommation énergétique dans les ménages, tandis que les autres utilisations, telles que l'éclairage, les appareils électriques, le chauffage de l'eau et la cuisine, représentent une part plus modeste de la consommation énergétique globale.²⁷

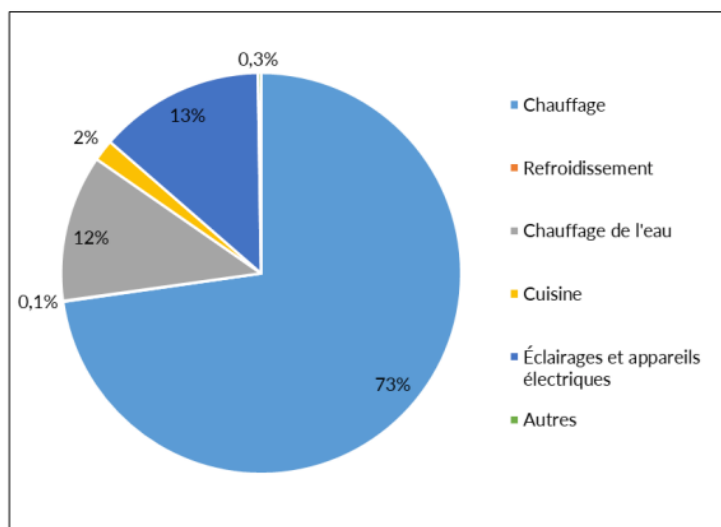


Figure 9 - Désagrégation de la consommation énergétique des ménages par utilisation finale en Belgique, en 2020

Source : *Analyse de la consommation énergétique des ménages en Belgique en 2020*. (2022, 21 juin). SPF Economie. Consulté le 15 mai 2023, à l'adresse <https://economie.fgov.be/fr/publications/analyse-de-la-consommation-0>

En 2020, la majorité des ménages belges ont opté pour le gaz naturel et le mazout de chauffage en tant que principales sources d'énergie pour le chauffage. D'autres sources d'énergie ont été utilisées, telles que l'électricité, la biomasse (bois et pellets), le propane-butane, la chaleur ambiante (pompes à chaleur), le charbon et le solaire thermique. Il convient de noter que 86% des ménages belges ont utilisé une seule source d'énergie pour le chauffage au cours de cette année.²⁸

Toutefois, certains ménages ont utilisé des sources d'énergie secondaires pour le chauffage d'appoint, telles qu'un poêle à bois ou un chauffage électrique. Les sources d'énergies renouvelables étaient fréquemment utilisées de manière secondaire. Par exemple, les installations solaires thermiques ne produisaient généralement pas

²⁷ *Analyse de la consommation énergétique des ménages en Belgique en 2020*. (2022, 21 juin). SPF Economie. Consulté le 15 mai 2023, à l'adresse <https://economie.fgov.be/fr/publications/analyse-de-la-consommation-0>

²⁸ *Analyse de la consommation énergétique des ménages en Belgique en 2020*. (2022, 21 juin). SPF Economie. Consulté le 15 mai 2023, à l'adresse <https://economie.fgov.be/fr/publications/analyse-de-la-consommation-0>

suffisamment d'énergie pour chauffer une maison entière, elles étaient ainsi principalement utilisées pour la production d'eau chaude. Néanmoins, l'énergie non utilisée pour la production d'eau chaude pouvait être utilisée quant à elle pour le chauffage d'appoint. En 2020, 17% des ménages belges se sont servis de leur installation solaire thermique à la fois pour le chauffage de l'eau et le chauffage de l'espace.²⁹

Le gaz naturel et le mazout de chauffage ont représenté la plus grande part de la consommation d'énergie pour le chauffage en 2020. Les autres sources d'énergie consommées comprenaient la biomasse (bois et pellets), l'électricité, le propane-butane, la chaleur ambiante (pompes à chaleur), le charbon et le solaire thermique.³⁰

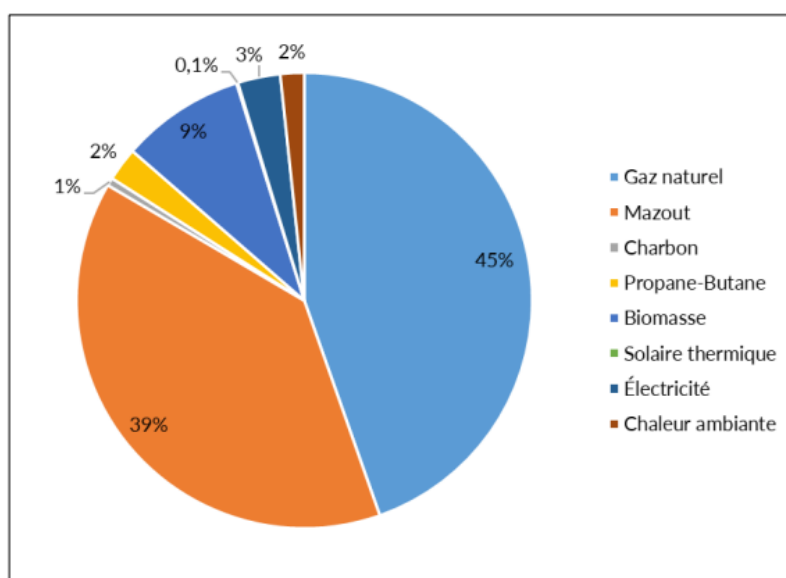


Figure 10 - Consommation énergétique pour le chauffage en Belgique, en 2020

Source : *Analyse de la consommation énergétique des ménages en Belgique en 2020*. (2022, 21 juin). SPF Economie. Consulté le 15 mai 2023, à l'adresse <https://economie.fgov.be/fr/publications/analyse-de-la-consommation-0>

En 2019, la consommation finale totale d'énergie (y compris les usages non-énergétiques) en Wallonie a atteint 128,8 térawattheures (TWh), soit une baisse de 1 % par rapport à l'année précédente et une baisse de 10 % par rapport à 2010. La consommation finale d'énergie représente la demande énergétique du consommateur final wallon (hors transformation) et dépend de facteurs tels que l'activité économique, le niveau de vie, les conditions climatiques et le progrès technologique. Cette consommation est divisée par secteur (industrie, logement, tertiaire, agriculture,

²⁹ *Analyse de la consommation énergétique des ménages en Belgique en 2020*. (2022, 21 juin). SPF Economie. Consulté le 15 mai 2023, à l'adresse <https://economie.fgov.be/fr/publications/analyse-de-la-consommation-0>

³⁰ *Analyse de la consommation énergétique des ménages en Belgique en 2020*. (2022, 21 juin). SPF Economie. Consulté le 15 mai 2023, à l'adresse <https://economie.fgov.be/fr/publications/analyse-de-la-consommation-0>

transport) et par type d'énergie (gaz solides et dérivés, produits pétroliers, gaz naturel, électricité, etc.).³¹

Ce qui a été observé en 2019 s'explique en partie par une légère baisse de la consommation dans l'industrie (-0,4%), et de la consommation dans les secteurs résidentiels (-2,2%) et des transports (-0,3%). Les secteurs des transports et du tertiaire ont connu la plus forte croissance de la consommation depuis 1990, +35% et +57% respectivement, contrairement au secteur industriel (-43%). La consommation de combustibles solides et de gaz dérivés a également fortement baissé (-87% depuis 1990), en raison de la fermeture des hauts-fourneaux, d'une baisse de la consommation de produits pétroliers (-4,5%) et une augmentation considérable de la consommation d'électricité (+31%) et de carburants (+29%, en raison des transports routiers et aériens).³²

Consommation par secteur							
		Industrie	Agriculture	Logement	Tertiaire	Transport	Total
en TWh ¹ PCI ²	1990	76,5	1,3	32,4	8,5	27,6	146,4
	1995	76,5	1,2	35,7	10,1	30,2	153,7
	2000	75,8	1,2	34,2	11,3	33,7	156,1
	2005	66,8	1,3	36,6	12,3	36,6	153,5
	2010	50,6	1,3	37,9	14,6	38,2	142,6
	2015	44,1	1,3	34,8	13,2	35,5	128,8
	2019	43,5	1,3	33,3	13,3	37,2	128,8
	2020	42,8	1,4	33,6	13,1	32,5	123,4
Evolution 1990-2019		-44,1%	9,5%	3,9%	52,9%	17,8%	-15,7%
TCAM 1990-2019		-2,0%	0,3%	0,1%	1,5%	0,6%	-0,6%
Evolution 2019-2020		-1,7%	14,2%	0,9%	-2,2%	-12,6%	-4,2%

Consommation par vecteur							
		Solides et gaz dérivés	Produits pétroliers	Gaz naturel	Electricité	Autres ⁴	Total
en TWh ¹ PCI ²	1990	35,2	59,3	26,9	17,8	6,9	146,2
	1995	29,7	63,0	30,9	21,1	8,9	153,5
	2000	25,8	63,9	33,7	23,4	9,1	155,9
	2005	17,8	68,5	34,0	23,9	9,1	153,2
	2010	9,3	63,4	31,8	24,7	13,5	142,6
	2015	5,0	58,3	28,6	23,3	13,7	128,8
	2019	4,5	56,9	29,1	23,5	14,8	128,8
	2020	3,7	53,1	30,6	22,9	13,2	123,4
Evolution 1990-2019		-89,5%	-10,9%	13,7%	28,1%	91,1%	-15,7%
TCAM 1990-2019		-7,5%	-0,4%	0,4%	0,9%	2,3%	-0,6%
Evolution 2019-2020		-17,7%	-6,8%	5,2%	-2,6%	-11,0%	-4,2%

Figure 11 - Evolution de la consommation d'énergie par secteur et par vecteur en Wallonie

Source : *Consommation d'énergie par secteur / vecteur - IWEPS*. (2023, 13 juillet). Iweps. Consulté le 20 juin 2023, à l'adresse <https://www.iweps.be/indicateur-statistique/consommation-denergie-secteur-vecteur/>

³¹ *Analyse de la consommation énergétique des ménages en Belgique en 2020*. (2022, 21 juin). SPF Economie. Consulté le 15 mai 2023, à l'adresse <https://economie.fgov.be/fr/publications/analyse-de-la-consommation-0>

³² *Analyse de la consommation énergétique des ménages en Belgique en 2020*. (2022, 21 juin). SPF Economie. Consulté le 15 mai 2023, à l'adresse <https://economie.fgov.be/fr/publications/analyse-de-la-consommation-0>

5.2.2. Les actions prises afin de réduire la consommation

En Wallonie, une circulaire a été envoyée aux écoles afin de réduire leur consommation énergétique. La circulaire s'appliquera à compter du 30 septembre 2022.³³

Cette circulaire vise à promouvoir une consommation énergétique responsable d'énergie dans les services publics wallons, en réponse à la crise énergétique actuelle et à sa possible dégradation dans les mois à venir. L'objectif est de donner l'exemple sans déplacer la charge sur le personnel et de réduire la consommation d'énergie de l'État. À cette fin, plusieurs recommandations ont été formulées pour favoriser la réduction de la consommation d'énergie et l'adoption de pratiques responsables :

En matière de comportements individuels : La circulaire requiert que les salariés soient incités à modifier leur comportement et, si nécessaire, à lancer une campagne de communication et de sensibilisation. Elle comprend notamment les dispositions suivantes :

- Éteindre les appareils électroménagers en fin de journée et éteindre systématiquement les lumières lorsque les locaux sont vides.
- Limiter la quantité de papier imprimé et privilégier les flux numériques par rapport à l'envoi de documents papier.
- Privilégier au maximum les modes de transport actifs et les transports en commun.
- Privilégier les escaliers plutôt que l'ascenseur (réserver l'utilisation de l'ascenseur aux personnes à mobilité réduite, au déplacement d'équipements, etc.).
- Limiter les voyages d'affaires et encourager les webinaires et les réunions via des plateformes en ligne telles que Microsoft Teams.
- Généraliser le recyclage, la réutilisation et la réparation des biens.

En matière de bâtiments : La circulaire propose diverses mesures visant à réduire la consommation d'énergie dans les bâtiments du service public wallon :

- L'organisation d'espaces de coworking clairement définis, par province, accessibles à tous les agents du Service Public de Wallonie (SPW) et des Unités d'Administration Publique (UAP). Cette initiative permettrait de réduire les déplacements et la consommation d'énergie liée à l'occupation de plusieurs bâtiments.
- L'extinction des éclairages publics d'illumination (pour la mise en valeur des sites et bâtiments) de minuit à 6h du matin, sans compromettre la sécurité des lieux.

³³ Fédération wallonie bruxelles. (2022, 30 septembre). *Circulaire 8746*. Consulté le 29 juin 2023, à l'adresse https://www.gallilex.cfwb.be/document/pdf/50526_000.pdf

- L'optimisation des climatisations de confort et des chauffages d'appoint électriques, en les utilisant de manière plus efficace et responsable.
- Dans les bâtiments accueillant du public, il est recommandé de maintenir les portes d'accès fermées lorsque la climatisation ou le chauffage est en fonctionnement, pour ainsi limiter les pertes d'énergie et de maintenir une température intérieure constante.

En matière de chauffage : Il est primordial de veiller à maintenir une température appropriée dans les locaux en fonction de leur utilisation et de leur occupation. Les individus chargés de la gestion technique doivent ajuster les systèmes pour maintenir une température de chauffage de 19°C et réduire cette température lors des périodes d'inoccupation. Quant à la climatisation, il convient de fixer la consigne de température à 27°C. Il est tout aussi essentiel de procéder à un entretien régulier des installations.

En matière d'organisation du travail : Il est impératif de mettre en place une optimisation des périodes de télétravail et de travail en présentiel en respectant scrupuleusement les dispositions de l'arrêté du Gouvernement régissant le télétravail. Dans cette optique, il est vivement recommandé de favoriser les réunions virtuelles et de procéder à la digitalisation des flux afin de réduire les déplacements et la consommation de carburant. Par ailleurs, il convient de privilégier la signature électronique et de systématiser l'envoi de documents de manière électronique plutôt que sur papier. Enfin, il est essentiel de gérer les ressources informatiques de manière énergétiquement responsable.

En matière de mobilité : Il est impératif de restreindre les déplacements en voiture et de promouvoir les modes de transport alternatifs tels que les vélos, les trottinettes et les transports en commun. Il convient d'encourager et de faciliter le covoiturage, ainsi que d'adopter des pratiques d'écoconduite. Il est également recommandé d'encourager l'utilisation des transports en commun pour les déplacements professionnels, y compris à l'étranger. Il est essentiel de systématiser l'acquisition de véhicules énergétiquement efficaces et d'accroître l'utilisation des véhicules électriques.

Le Gouvernement charge le collège des Fonctionnaires dirigeants d'analyser la possibilité de rationaliser l'occupation des bâtiments, notamment en mutualisant certains espaces de travail pour limiter les consommations énergétiques. L'objectif est de développer des espaces de coworking dédiés spécifiquement aux fonctionnaires des autres services régionaux.

5.3. La différence entre les compteurs et les capteurs

Dans le domaine de la consommation énergétique, il convient de souligner le rôle important joué par le compteur et le capteur. En effet, aujourd'hui, grâce à l'IOT, il est possible de relever des compteurs en distanciel à l'aide d'une installation de capteurs sans fil qui permet par la suite d'analyser les données sur une plateforme, tout comme IOT Factory le fait.³⁴

Compteur d'énergie : Le compteur d'énergie, qu'il s'agisse d'un compteur électrique ou d'un compteur de gaz, est un dispositif qui mesure la quantité totale d'énergie (électricité, gaz, etc.) utilisée par une habitation, un bâtiment ou une installation spécifique. Les compteurs intelligents, quant à eux, représentent une version évoluée des compteurs d'énergie classiques, capables de fournir des données de consommation en temps réel, de les transmettre à distance au fournisseur d'énergie, et de permettre à l'utilisateur de surveiller sa consommation énergétique au moyen d'une interface numérique. Ces dispositifs sont conçus pour enregistrer avec précision la quantité totale d'énergie consommée sur une période donnée.

Capteur d'énergie : Un capteur d'énergie désigne un dispositif conçu pour détecter et quantifier des variables spécifiques associées à l'énergie, telles que le courant, la tension, la puissance, la température, le mouvement, l'humidité, et ainsi de suite. L'objectif de ces capteurs est de surveiller l'efficacité énergétique d'un système particulier, comme un système de chauffage, de ventilation et de climatisation (CVC), en vue de détecter les pertes d'énergie, ainsi que de contrôler et d'optimiser l'utilisation de l'énergie en temps réel. Les capteurs d'énergie peuvent être intégrés dans un système de gestion énergétique, ce qui permet d'obtenir un contrôle plus précis et une optimisation de la consommation d'énergie.

De manière générale, dans le domaine de la consommation d'énergie, un compteur est souvent utilisé pour mesurer la quantité totale d'énergie consommée, tandis qu'un capteur est employé pour surveiller et quantifier des variables spécifiques associées à l'énergie, dans le but de contrôler et d'optimiser l'efficacité énergétique.

Nous pouvons donc déduire que l'utilisation de compteurs et de capteurs peut jouer un rôle essentiel dans la baisse de la consommation d'énergie et de gaz dans les établissements scolaires en Belgique.

Après avoir discuté avec le CEO de l'entreprise IOT Factory, qui est également un expert en IOT, voici comment cela pourrait fonctionner :

³⁴ Milazzo, G. (2021, août 4). *Télérelève de compteurs d'énergie grâce aux capteurs IoT - RG2I*. RG2i. Consulté le 2 août 2023, à l'adresse <https://www.rg2i.com/blog/telereleve-de-compteurs-denergie-grace-aux-capteurs-iot/>

Compteurs intelligents : La surveillance en temps réel de la consommation d'énergie offerte par ces capteurs permet d'identifier les périodes de consommation élevée. Cette connaissance peut être exploitée pour ajuster l'utilisation de l'énergie et éviter les pointes de consommation coûteuses. En outre, en ayant une meilleure compréhension de leur profil de consommation, les établissements scolaires peuvent négocier des tarifs plus avantageux avec leurs fournisseurs d'énergie.

Capteurs d'énergie : Ces outils de surveillance permettent d'évaluer l'efficacité énergétique de divers systèmes au sein de l'école, tels que le chauffage, la climatisation et l'éclairage. Par exemple, un capteur peut détecter si une salle de classe est inoccupée mais que les lumières sont allumées, ou si la température dépasse le niveau de confort requis. Ces informations peuvent être utilisées pour ajuster automatiquement les systèmes en vue d'une économie d'énergie.

Dans un cadre plus vaste, l'utilisation simultanée de compteurs et de capteurs peut contribuer à la création d'un « bâtiment intelligent », où tous les systèmes interagissent de manière optimale en vue de minimiser la consommation d'énergie. À titre d'illustration, les informations recueillies par les capteurs pourraient être exploitées pour ajuster automatiquement l'éclairage et la température en fonction de l'usage de la salle de classe, tandis que les données fournies par les compteurs pourraient permettre d'adapter la consommation énergétique globale en fonction des tarifs en vigueur.

En somme, les compteurs et les capteurs ont tous deux un rôle crucial à jouer dans la réduction de la consommation énergétique et de gaz dans les établissements scolaires, en fournissant des données précieuses qui peuvent être utilisées pour optimiser l'exploitation de l'énergie et sensibiliser les élèves.

5.4. Les différents types de compteurs

En Belgique, il existe plusieurs types de compteurs électriques, tels que les compteurs simples, bi-horaires, exclusifs nuit, à budget et intelligents. Chacune de ces options présente ses propres avantages et inconvénients, ce qui souligne l'importance pour les consommateurs de bien comprendre les distinctions entre eux.³⁵

Lorsqu'il s'agit de connecter une résidence au réseau électrique ou de déménager, les individus peuvent se trouver confrontés à choisir le type de compteur à installer. De plus, même en l'absence de ces circonstances, un consommateur a la liberté de changer de compteur à tout moment, à condition de couvrir les frais imposés par son gestionnaire de réseau de distribution (GRD).

³⁵ *Électricité et gaz : Compteur Archives.* (s. d.). Consulté le 27 juillet 2023, à l'adresse <https://www.comparateur-energie.be/blog/compteur-electrique/>

Toutefois, avant de faire un choix de compteur différent, il est essentiel de comprendre quel type de compteur serait le plus approprié. Ce choix ne doit pas être fait de manière aléatoire : il est primordial de prendre en considération les caractéristiques propres à chaque compteur, car elles auront un impact sur la manière dont l'électricité est consommée et détermineront le coût du kilowattheure facturé.

Une brève description des cinq différents type de compteurs envisageables est présentée ci-dessous.

Qu'est-ce qui définit un compteur électrique et quel est son principe de fonctionnement ?³⁶

Un compteur d'électricité a été développé dans le but d'évaluer la quantité d'électricité consommée dans une résidence ou tout autre lieu. Ce dispositif enregistre chaque kilowattheure d'énergie utilisée.

Le compteur d'électricité fournit une information cruciale : l'index de consommation, qui est nécessaire au fournisseur d'électricité pour établir une facture.

Cependant, la responsabilité de la lecture et de l'entretien du compteur d'énergie incombe au gestionnaire du réseau de distribution. Ce dernier transmet ensuite les données consommation au fournisseur d'électricité.

Ces données sont utilisées pour différentes finalités :

- Calculer la facture de régularisation, qui représente la différence entre la consommation réelle et l'estimation effectuée par le fournisseur pour établir les paiements anticipés ;
- Établir les factures d'acompte à venir, soit les factures mensuelles, qui sont déterminées en fonction d'une estimation de la consommation future.

La mesure de l'énergie électrique est réalisée par le compteur d'électricité en utilisant l'unité de kilowattheure (kWh). Un kilowattheure correspond à la quantité d'énergie déployée par un dispositif d'une puissance de 1 000 watts pendant une durée d'une heure.

Il est crucial de faire la distinction entre le code EAN et le numéro de compteur, car il est fréquent que les consommateurs confondent les deux. Toutefois, ils sont bien distincts.

En Belgique, il est à noter que le code EAN est constitué d'une séquence de 18 chiffres, avec la particularité de toujours débiter par le nombre 54. Son rôle est d'identifier le point de consommation d'électricité, c'est-à-dire l'adresse, et non le compteur en lui-même.

³⁶ *Électricité et gaz : Compteur Archives*. (s. d.). Consulté le 27 juillet 2023, à l'adresse <https://www.comparateur-energie.be/blog/compteur-electrique/>

En revanche, le numéro de compteur est spécifiquement utilisé pour identifier un compteur. Il comporte 8 chiffres et se situe sur l'appareil en question. Ce numéro permet au gestionnaire de réseau de distribution (GRD) de relever correctement l'index afin d'éviter toute erreur.



Figure 12 - compteur gaz

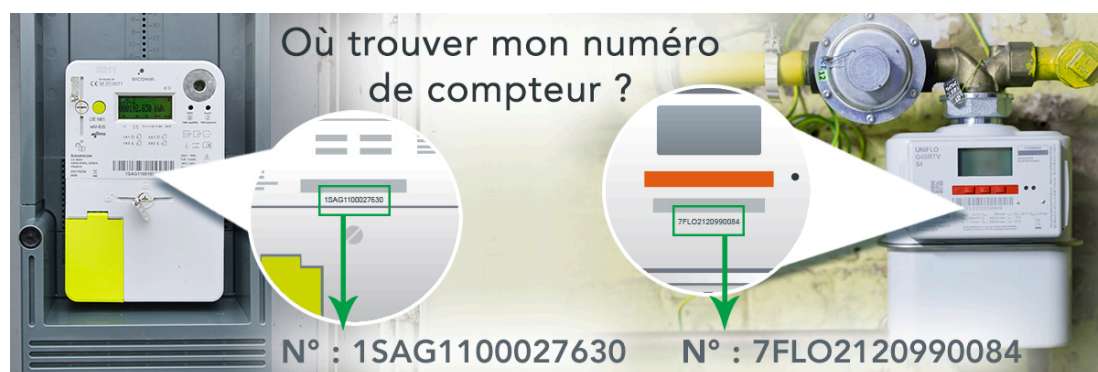


Figure 13 - compteur électricité

Sources images: *Connaître mon code EAN - particuliers & professionnels*. (s. d.). ORES.

Consulté le 27 juillet 2023, à l'adresse <https://www.ores.be/particuliers-et-professionnels/connaitre-code-ean>

5.4.1. Le compteur mono-horaire³⁷

Un compteur mono-horaire, également connu sous le nom de compteur simple, est équipé d'un seul cadran qui enregistre la consommation d'électricité sans différencier les heures de jour et de nuit. Étant donné qu'il n'y a qu'un seul index, l'électricité est facturée au même tarif, indépendamment de l'heure de consommation, ce qui correspond au tarif normal ou simple.

La présence d'un seul index sur le compteur indique qu'il s'agit d'un compteur mono-horaire. Par conséquent, le coût du kilowattheure d'électricité reste constant, que ce soit pendant les heures de jour ou de nuit.

³⁷ *Électricité et gaz : Compteur Archives*. (s. d.). Consulté le 27 juillet 2023, à l'adresse <https://www.comparateur-energie.be/blog/compteur-electrique/>

Ce type de compteur est généralement conseillé à ceux qui ont des panneaux solaires et qui produisent suffisamment d'énergie pour couvrir leur propre consommation.

5.4.2. Le compteur bi-horaire³⁸

En revanche, le compteur bi-horaire possède deux index distincts : un pour les heures pleines (jour) et un autre pour les heures creuses (nuit). La consommation d'électricité pendant les heures creuses coûte globalement moins chère que pendant les heures pleines.

Les plages horaires correspondant aux heures pleines et creuses sont déterminées par le fournisseur d'électricité. Toutefois, en semaine, les heures pleines s'étendent généralement sur une période de 15 heures, tandis que les heures creuses durent 9 heures.

Généralement, la période de consommation enregistrée du lundi au vendredi, de 07h00 à 22h00, est considérée comme étant la période de jour, tandis que la consommation entre 22h00 et 07h00 en semaine, ainsi que la consommation totale du week-end, est distinguée à la période de nuit.

Ce système de distinction entre les périodes de jour et de nuit présente des avantages pour les individus qui consomment davantage d'électricité la nuit et les week-ends.

Afin d'optimiser l'utilisation de ce système, il est préconisé de planifier l'utilisation d'appareils énergivores, tels que la machine à laver, le lave-vaisselle et le chauffe-eau, pendant ces périodes de nuit et de week-end.

Toutefois, il est important de s'assurer que le compteur électrique est suffisamment puissant pour utiliser simultanément plusieurs appareils.

En règle générale, il est considéré comme économiquement avantageux de passer à un compteur bi-horaire lorsque la consommation pendant les heures creuses est supérieure à la moitié de la consommation totale. Dans le cas contraire, il est plus judicieux d'opter pour un compteur mono-horaire.

³⁸ *Électricité et gaz : Compteur Archives*. (s. d.). Consulté le 27 juillet 2023, à l'adresse <https://www.comparateur-energie.be/blog/compteur-electrique/>



Figure 14 - compteur jour et nuit

Source : *Problème avec mon contacteur jour-nuit pour mon chauffe eau.* (s. d.). BricoZone.

Consulté le 27 juillet 2023, à l'adresse <https://www.bricozone.be/t/probleme-avec-mon-contacteur-jour-nuit-pour-mon-chauffe-eau.60735/>

5.4.3. Le compteur exclusif de nuit³⁹

Le compteur exclusif de nuit n'est actif que pendant la nuit, principalement pour des appareils comme le chauffe-eau et le chauffage électrique à accumulation.

Même s'il est possible d'utiliser l'énergie accumulée le jour, l'appareil ne redémarre que la nuit.

Pour obtenir des informations précises sur les heures de la période nocturne, il est nécessaire de contacter le gestionnaire de réseau de distribution (GRD), tout comme pour le compteur bi-horaire.

Toutefois, à l'inverse du compteur bi-horaire, le samedi et le dimanche ne sont pas considérés comme des heures creuses.

D'un point de vue technique, il convient de souligner que le compteur exclusif de nuit n'est jamais installé seul, mais doit être associé à un compteur mono-horaire ou bi-horaire.

³⁹ *Électricité et gaz : Compteur Archives.* (s. d.). Consulté le 27 juillet 2023, à l'adresse <https://www.comparateur-energie.be/blog/compteur-electrique/>

En outre, le coût du kilowattheure avec un compteur exclusif de nuit est globalement équivalent au tarif de nuit du compteur bi-horaire. Les économies se font principalement au niveau des tarifs de distribution plus bas, ce type de compteur est ainsi légèrement plus avantageux comparé au système d'heures creuses qui caractérise le compteur bi-horaire.

Cependant, puisque les économies sont plus faibles qu'avant, le compteur exclusif de nuit est une option qui est de moins en moins utilisée.



Figure 15 - compteur gaz classique

Source: *Voici comment choisir le compteur d'électricité adéquat*. (2022, 15 décembre). Consulté le 2 août 2023, à l'adresse <https://www.monenergie.be/blog/voici-comment-choisir-le-compteur-delectricite-adequat/>

5.4.4. Le compteur à budget⁴⁰

Le compteur à budget possède le même rôle que les compteurs traditionnels : il évalue la consommation d'électricité ou de gaz. Il convient toutefois de noter qu'il est indisponible à Bruxelles.

Toutefois, cette fonctionnalité est dotée d'un mécanisme de prépaiement supplémentaire qui permet à l'utilisateur de consommer de l'énergie correspondant au montant préchargé sur une carte à puce qui se trouve dans le compteur.

Une fois le solde de l'utilisateur épuisé, ce dernier doit recharger sa carte sous peine de subir une coupure d'énergie lorsque le crédit d'urgence disponible a été utilisé.

⁴⁰ *Électricité et gaz : Compteur Archives*. (s. d.). Consulté le 27 juillet 2023, à l'adresse <https://www.comparateur-energie.be/blog/compteur-electrique/>

Il convient de souligner que les clients bénéficiant du tarif social, c'est-à-dire les clients protégés, ont droit à un approvisionnement électrique minimal de 10 ampères pendant une durée de trois mois en cas de non-rechargement de leur carte.

Le compteur à budget est souvent recommandé, voire imposé, aux clients en cas de situation d'impayés, car il permet une meilleure gestion du budget, le client devant prépayer sa consommation d'énergie.

De plus, l'utilisateur a la possibilité de choisir ouvertement son fournisseur d'énergie. Un avantage supplémentaire est que ce type de compteur n'implique aucune modification de l'utilisation des appareils électroménagers ou de la puissance disponible.

Quant au prix du kilowattheure, il demeure identique à celui stipulé dans le contrat de fourniture du client, à l'exception des clients protégés à qui s'appliquent les tarifs sociaux.

Enfin, il convient de noter que le compteur à budget peut également être configuré pour fonctionner selon un tarif bi-horaire.



Figure 16 - compteur à budget

Source: *Électricité et gaz : Compteur Archives*. (s. d.). Consulté le 27 juillet 2023, à l'adresse <https://www.comparateur-energie.be/blog/compteur-electrique/>

5.4.5. Le compteur intelligent⁴¹

À mesure que notre société évolue et que les besoins en matière de climat évoluent, une transition importante vers les énergies renouvelables nécessite un changement dans nos habitudes de consommation. Ainsi, les compteurs numériques communicants, également connus sous le nom de compteurs intelligents, se révèlent extrêmement utiles.

L'avantage principal de ces compteurs réside dans leur capacité à transmettre automatiquement les relevés d'index au gestionnaire de réseau, éliminant ainsi le besoin de les effectuer soi-même pour la régularisation, ce processus pouvant être automatisé.

À long terme, ces compteurs pourraient également contribuer à optimiser la consommation d'électricité en identifiant les périodes de faible utilisation du réseau, ce qui pourrait éventuellement conduire à l'obsolescence du concept de compteur bi-horaire.

De plus, ces compteurs permettent aux propriétaires de panneaux solaires de suivre la quantité exacte d'électricité prélevée et introduite dans le réseau, en fonctionnant comme des compteurs à double flux.

Il est judicieux de souligner qu'uniquement la région flamande utilise énormément ces compteurs et semble être en bonne voie pour atteindre l'objectif qui est d'installer ce type de compteur d'ici 2024 pour 80% des ménages et pour 100% d'ici 2029. En revanche, la Wallonie et Bruxelles sont encore loin de ces missions ambitieuses.

Actuellement, il est également nécessaire de préciser que seuls les groupes cibles prioritaires et les ménages qui le demandent expressément ou doivent remplacer un compteur défectueux disposent de ce type de compteur.

⁴¹ *Électricité et gaz : Compteur Archives*. (s. d.). Consulté le 27 juillet 2023, à l'adresse <https://www.comparateur-energie.be/blog/compteur-electrique/>



Figure 17 - compteur électrique digital

Source: *Comment fonctionne un compteur communicant ? - particuliers et professionnel.* (s. d).
 ORES. Consulté le 27 juillet 2023, à l'adresse <https://www.ores.be/particuliers-et-professionnels/fonctionnement-compteur-intelligent>

Comment l'IOT contribue dans les compteurs intelligents ?⁴²

Les compteurs intelligents ont entraîné une transformation complète de la manière dont la consommation d'énergie est surveillée et suivie. En utilisant l'Internet des objets, ces compteurs intelligents fournissent aux services publics et aux fournisseurs d'énergie une image en temps réel de l'énergie consommée.

Cette aptitude leur confère la capacité de réguler l'exploitation de l'énergie de manière plus efficiente et de satisfaire de façon plus précise les exigences de leur clientèle.

Les compteurs intelligents sont des appareils connectés qui enregistrent la quantité d'énergie consommée. Ces derniers sont reliés au système informatique d'une entreprise de services publics, ce qui permet aux fournisseurs d'énergie d'accéder aux données relatives à la consommation d'électricité, de gaz et d'eau en temps réel.

Les données obtenues à partir des compteurs intelligents fournissent une représentation précise de la consommation d'énergie d'un client, ce qui offre aux entreprises de services publics la possibilité d'améliorer la gestion de leurs réseaux et d'accroître la qualité de leur service à la clientèle.

L'exploitation des données issues des compteurs intelligents permet d'identifier les mesures visant à réduire la consommation d'énergie et à détecter les domaines de gaspillage potentiels.

Les informations collectées à partir d'un compteur intelligent révèlent, par exemple, les périodes d'utilisation des appareils et la quantité d'énergie qu'ils consomment.

Ces données peuvent ensuite être exploitées pour chercher des possibilités d'atténuer la consommation d'énergie ou pour envisager le remplacement des appareils par des modèles plus économes en énergie.

De plus, les compteurs intelligents permettent aux utilisateurs de mieux comprendre leur consommation énergétique. Ces dispositifs fournissent aux consommateurs des informations en temps réel sur leur consommation d'énergie, leur permettant d'identifier les domaines où des économies d'énergie, et donc d'argent, pourraient être réalisées.

Par ailleurs, il convient de noter que ces données peuvent être utilisées dans le but de comparer les niveaux de consommation énergétique entre divers ménages, ce qui

⁴² *IoT pour les compteurs intelligents : comment il contribue à améliorer la consommation d'énergie et les économies de coûts.* (2023, 16 mai). Consulté le 31 juillet 2023, à l'adresse <https://ts2.space/fr/iot-pour-les-compteurs-intelligents-comment-il-contribue-a-ameliorer-la-consommation-denergie-et-les-economies-de-couts/>

permet aux consommateurs d'évaluer leur propre consommation en comparaison avec celle des autres.

En exploitant les potentialités de l'IoT, les compteurs intelligents apportent une assistance aux services publics ainsi qu'aux fournisseurs d'énergie en vue d'une gestion plus efficace de la consommation énergétique et de la satisfaction des besoins spécifiques des clients.

Les types de données récoltées via les compteurs intelligents

Les compteurs intelligents, en tant qu'outils technologiques sophistiqués, recueillent une diversité de données relatives à la consommation énergétique.

Après avoir collaboré avec des experts en IOT de l'entreprise IOT Factory et après avoir travaillé avec la plateforme même de l'entreprise, il convient de souligner les différents types de données qu'ils sont susceptibles de collecter :

- ***Données de consommation d'énergie en temps réel :***

La caractéristique prédominante des compteurs intelligents est leur capacité à mesurer en temps réel la consommation d'électricité et de gaz, ainsi qu'à transmettre ces données à intervalles réguliers, souvent toutes les 15 minutes voire en temps réel.

- ***Données de consommation historiques :***

Les compteurs intelligents conservent habituellement un historique des données de consommation, ce qui permet d'analyser les tendances de consommation sur des périodes prolongées.

- ***Données de consommation par appareil :***

Certains compteurs intelligents sophistiqués sont capables d'analyser la consommation d'énergie de manière détaillée, en la répartissant par appareil ou par circuit, ce qui facilite l'identification des appareils particulièrement énergivores.

- ***Données sur les événements :***

Les compteurs intelligents sont également capables d'enregistrer des données relatives à des événements particuliers, tels que des pannes de courant, des surtensions ou encore des baisses de tension.

- ***Données environnementales :***

Certains compteurs intelligents peuvent même collecter des données en matière d'environnement, comme la température ou l'humidité, qui peuvent influencer la consommation d'énergie.

Des illustrations de la plateforme IOT Factory avec ces différents types de données sont présentées en annexe 1.⁴³

Les informations détaillées fournies par les compteurs intelligents peuvent être d'une grande utilité pour les établissements scolaires qui souhaitent réduire leur consommation d'énergie et de gaz de plusieurs manières.

En effet, lors d'un entretien avec le CEO d'IOT Factory, ce dernier a fait part de plusieurs points qui ont aidé ses clients à réduire leurs consommations d'énergie, et qui peuvent aussi être transférables aux écoles :

- ***Repérage des pics de consommation :***

Les données fournies par les compteurs intelligents peuvent être exploitées pour générer des graphiques et des représentations visuelles mettant en évidence les périodes de consommation maximale d'énergie. Cette approche permet d'identifier des habitudes d'utilisation inefficaces, telles que le maintien d'appareils allumés pendant la nuit ou les périodes de vacances scolaires dans le cas des écoles.

- ***Étude de l'exploitation d'énergie par bâtiment ou par pièce :***

Les compteurs intelligents offrent fréquemment des informations détaillées sur la consommation d'énergie à un niveau de granularité élevé. Dans le cas des écoles, cela peut se faire notamment par salle de classe ou par zone. Cette capacité permet d'identifier les zones spécifiquement inefficaces en termes d'utilisation d'énergie, potentiellement en raison d'une mauvaise isolation ou de l'utilisation d'équipements obsolètes.

- ***Planification et investissement :***

Les données relatives à la consommation d'énergie peuvent constituer un élément précieux lors de la planification des optimisations de l'infrastructure. À titre d'illustration, si les données indiquent qu'un bâtiment présente une inefficacité énergétique notable, cela pourrait justifier l'achat de fenêtres à double vitrage ou l'installation d'une meilleure isolation.

- ***Contrôle et suivi :***

Lorsque des mesures ont été prises en vue de réduire la consommation d'énergie, les compteurs intelligents peuvent s'avérer des outils précieux pour évaluer leur efficacité. Par exemple, dans le cas où un bâtiment décide de mettre en place des panneaux solaires, l'exploitation des données fournies par le compteur intelligent permettra d'analyser la quantité d'énergie produite et d'évaluer son impact sur la consommation entière.

⁴³ Cfr. Annexe 1

En somme, les compteurs intelligents constituent une ressource offrant un niveau de détail et d'explication qui s'avère grandement bénéfique pour les institutions désireux de réduire leur consommation d'énergie et de gaz. Grâce à leur capacité à fournir des informations précises et en temps réel sur la consommation d'énergie, ces compteurs contribuent à l'identification des problèmes, à la planification de solutions appropriées et à la surveillance et le contrôle des améliorations réalisées.

5.4.6. Compteur à gaz⁴⁴

Contrairement à l'électricité, le gaz présente une singularité dans la mesure où il est doté d'un unique compteur, ce qui implique l'existence d'un seul index. Cette particularité entraîne une constance du coût par kilowattheure (kWh) indépendamment du jour ou de l'heure de consommation.

L'une des distinctions majeures entre un compteur électrique et un compteur à gaz réside dans le mode de mesure de l'énergie consommée. En effet, le compteur à gaz quantifie la consommation en mètres cubes (m³) plutôt qu'en kWh. Les mètres cubes indiquent le volume de gaz fourni, tandis que les kWh reflètent l'effet énergétique réel.

Une fois l'index relevé, le fournisseur applique un coefficient de conversion afin de traduire ces données en kWh, permettant ainsi une information précise sur la consommation. Ce changement d'unité a pour objectif d'assurer des frais plus équitables pour le consommateur.

5.5. Prix d'un compteur d'électricité⁴⁵

Il semble nécessaire de souligner que l'installation ou le remplacement d'un compteur électrique ou de gaz n'est pas exempt de frais.

Par conséquent, il est essentiel de consulter le gestionnaire du réseau de distribution (GRD) pour obtenir des informations sur le coût de l'installation d'un compteur bi-horaire avant de prendre la décision de passer à un tarif jour/nuit, par exemple.

Pour information, Sibelga demande 84 euros de frais pour la livraison et l'aménagement d'un nouveau compteur électrique d'une puissance de moins de 25 kVa, et 105 euros pour mettre en marche un nouveau compteur.

Le GRD bruxellois facture aux environs de 250 et 450 euros pour le changement d'un compteur standard.

⁴⁴ Électricité et gaz : Compteur Archives. (s. d.). Consulté le 27 juillet 2023, à l'adresse <https://www.comparateur-energie.be/blog/compteur-electrique/>

⁴⁵ Électricité et gaz : Compteur Archives. (s. d.). Consulté le 27 juillet 2023, à l'adresse <https://www.comparateur-energie.be/blog/compteur-electrique/>

Cependant, il convient de noter que l'installation d'un compteur intelligent n'est pas payante, même si le client est à l'origine de la demande.

Toutefois, ces tarifs ne rentrent en vigueur que lorsque la demande de changement émane du client lui-même. Si c'est le fournisseur qui sollicite l'installation d'un compteur à budget, cela ne générera aucuns frais pour le client.

Dans d'autres situations, lorsque le compteur de gaz ou d'électricité s'avère obsolète, le gestionnaire de réseau de distribution est légalement tenu de le changer gratuitement. De même, le client ne sera pas tenu de payer le remplacement d'un appareil défectueux.

5.6. Les différents capteurs

Divers types de capteurs sont disponibles pour contribuer à la réduction de la consommation énergétique en observant et optimisant la consommation de l'énergie. Voici quelques exemples:

5.6.1. Capteurs de température et thermostats intelligents

Les capteurs de température et les thermostats intelligents sont deux dispositifs essentiels pour la gestion énergétique dans les bâtiments. Ils remplissent des rôles certes distincts mais bel et bien complémentaires :

- *Capteurs de température*⁴⁶

Un capteur de température est un instrument qui collecte des données relatives à la température provenant d'une source et les convertit en une forme intelligible, tant pour un observateur humain que pour un instrument de mesure.

Diverses catégories de dispositifs sensoriels de température existent, tels que les thermocouples, les thermistances et les thermomètres à résistance, chacun présentant ses propres avantages et inconvénients.

Dans le cadre de l'efficacité énergétique, il est possible d'employer des capteurs de température pour faire un suivi de la température dans différentes zones d'un édifice, ou bien pour évaluer les performances de systèmes de chauffage et de refroidissement.

⁴⁶ *Le capteur de température* - Rechner Sensors. (2019, 18 janvier). Rechner Sensors. Consulté le 7 juillet 2023, à l'adresse <https://www.rechner-sensors.com/fr/documentations/connaissance/le-capteur-de-temperature>

○ *Thermostats intelligents*⁴⁷

Un thermostat intelligent est un dispositif thermostatique qui permet une gestion à distance, généralement par le biais d'une application installée sur un smartphone ou une tablette. Ils offrent aux utilisateurs la possibilité de programmer des plages horaires de chauffage et de refroidissement et de régler la température à distance afin d'améliorer l'efficacité énergétique.

Dans l'ensemble, les capteurs de température sont exploités pour la collecte des données relatives à la température et les thermostats intelligents jouent un rôle actif dans le contrôle de la température en se basant sur ces données ainsi que sur d'autres paramètres tels que l'heure ou la fréquentation du bâtiment. Ensemble, ils peuvent jouer un rôle capital dans la diminution de la consommation d'énergie et de gaz au sein d'un bâtiment.

5.6.2. Capteurs de lumière⁴⁸

Les capteurs de lumière sont des dispositifs qui possèdent la capacité de détection de la lumière. Ils transforment les variations de la lumière en signaux électriques qui peuvent être quantifiés et analysés. Ces capteurs sont largement utilisés dans différentes applications, notamment pour la régulation de l'éclairage dans les structures, la gestion de l'ouverture et de la fermeture des portes automatiques, ainsi que pour l'ajustement de la luminosité des écrans des dispositifs électroniques tels que les smartphones et les ordinateurs portables.

Dans le cadre de l'efficacité énergétique, l'utilisation des capteurs de lumière permet de contrôler de manière automatique l'éclairage d'un bâtiment. Par exemple, si un capteur de lumière détecte qu'il y a assez de lumière naturelle dans une pièce, il est en mesure d'éteindre ou de réduire l'éclairage artificiel, ce qui se traduit par des économies d'énergie. De même, si le capteur détecte qu'une pièce est inoccupée, il peut éteindre les sources lumineuses afin d'éviter tout gaspillage d'énergie.

5.6.3. Capteurs d'humidité⁴⁹

Les capteurs d'humidité sont des dispositifs dont la fonction consiste à mesurer et à indiquer la quantité d'humidité présente dans l'air. L'humidité est exprimée en pourcentage d'humidité relative, qui représente le rapport entre la quantité actuelle de vapeur d'eau contenue dans l'air et la quantité maximale que l'air pourrait retenir à la même température.

⁴⁷ *Fonctionnement, avantages et inconvénients, prix ; tout savoir sur le thermostat intelligent.* (s. d.). Consulté le 7 août 2023, à l'adresse <https://www.calculéo.fr/eco-travaux/le-chauffage/le-thermostat-intelligent>

⁴⁸ Silamp France. (s. d.). *Capteurs de luminosité.* Consulté le 7 juillet 2023, à l'adresse <https://www.silamp.fr/collections/capteurs-de-luminosite>

⁴⁹ Mayer, N. (s. d.). *Capteur d'humidité : Qu'est-ce que c'est ?* Futura. Consulté le 7 juillet 2023, à l'adresse <https://www.futura-sciences.com/maison/definitions/humidite-capteur-humidite-16419>

Il existe différents types de capteurs d'humidité, les capteurs capacitifs et les capteurs résistifs sont les plus couramment utilisés.

Les capteurs d'humidité capacitifs sont dotés d'une fine bande de métal située sur un substrat non conducteur. Lorsque le niveau d'humidité change, la capacité de cette bande à stocker une charge électrique varie également. Ces variations déterminent ensuite le taux d'humidité relative.

Ces capteurs d'humidité résistifs renferment une bande de sel ou d'un autre substitut dont la résistance électrique évolue en fonction de l'humidité. Le capteur peut évaluer le taux d'humidité relative en mesurant ces variations de résistance.

5.6.4. Capteurs de qualité de l'air⁵⁰

Les capteurs de qualité de l'air sont des outils conçus dans le but de surveiller, de détecter et d'analyser les différentes particules ou polluants présents dans l'air. Ces dispositifs ont la capacité de mesurer des composants spécifiques tels que le monoxyde de carbone (CO), le dioxyde de carbone (CO₂), les composés organiques volatils (COV), ainsi que la température et l'humidité de l'air. La qualité de l'air est identifiée par la concentration de ces éléments.

Ces capteurs se déclinent en deux versions : autonome et intégrée. Les capteurs autonomes, qu'ils soient portables ou fixes, fournissent des informations en temps réel sur la qualité de l'air. En revanche, les capteurs intégrés sont associés directement dans d'autres dispositifs tels que les purificateurs d'air ou les stations météorologiques, où ils veillent sur la qualité de l'air en plus d'occuper leurs fonctions principales. Les données collectées par ces capteurs peuvent être exploitées pour mettre en place des mesures visant à maintenir ou à améliorer la qualité de l'air.

5.6.5. Capteurs de mouvement⁵¹

Les capteurs de mouvement, également connus sous le nom de détecteurs de mouvement, sont des dispositifs employés afin de repérer ou de suivre les mouvements dans un lieu spécifique. Leur utilisation englobe une variété d'applications, que ce soit dans le domaine de la sécurité résidentielle ou de l'éclairage automatisé.

Dans le domaine de l'efficacité énergétique, les capteurs de mouvement peuvent permettre d'automatiser l'éclairage, le chauffage, la ventilation, la climatisation, ...

⁵⁰ *Quels sont les meilleurs capteurs de qualité de l'air en 2023 ?* (2023, 14 juin). Consulté le 14 juillet 2023, à l'adresse <https://www.frandroid.com/guide-dachat/guide-dachat-maison-connectee/1231831-quels-sont-les-meilleurs-capteurs-de-qualite-de-lair>

⁵¹ *Qu'est-ce qu'un capteur de mouvement ? - Définition de techopedia - matériel 2023.* (2023). Icy Science. Consulté le 14 juillet 2023, à l'adresse <https://fr.theastrologypage.com/motion-sensor>

5.6.6. Capteurs de consommation énergétique⁵²

Les capteurs de consommation énergétique, fréquemment intégrés dans les systèmes de gestion énergétique ou les compteurs intelligents, sont des outils élaborés afin de quantifier la quantité d'énergie consommée par un appareil, un système ou un édifice.

Ils effectuent une surveillance et une collecte des données en temps réel concernant la consommation d'énergie, puis transmettent ces informations à un système centralisé en vue d'analyser et de surveiller les données. Divers types de capteurs de consommation énergétique existent pour différentes sources d'énergie, incluant l'électricité, le gaz naturel, l'eau, ainsi que le chauffage ou la climatisation. Ces capteurs peuvent être installés à divers emplacements au sein de l'infrastructure énergétique d'un édifice.

Les données recueillies peuvent être employées afin de discerner les tendances de consommation énergétique, repérer les inefficacités et élaborer des stratégies visant à réduire ladite consommation.

Enfin, l'association de divers types de capteurs avec une plateforme de gestion de l'énergie permet d'obtenir des analyses approfondies de la consommation énergétique et de formuler des recommandations en vue d'une utilisation plus efficiente de cette dernière.

⁵² *Capteur de consommation énergétique* | MerciYanis. (s. d.). Consulté le 17 juillet 2023, à l'adresse <https://www.merciyanis.com/capteurs-maintenance/capteur-de-consommation-energetique>

5.7. IOT dans l'enseignement⁵³

L'avènement de l'Internet des Objets a imprégné de manière significative les secteurs industriels et agricoles, et l'industrie éducative ne fait pas exception à cette tendance.

Cependant, ce domaine se distingue par sa mission singulière de façonner les esprits de la prochaine génération, un défi que les autres secteurs n'ont pas à relever.

Toutefois, il est incontestable que l'IoT s'intègre progressivement dans le système éducatif.

Alors que le monde se dirige vers des technologies de pointe, notre mode de vie a subi des transformations drastiques. Il n'y a que quelques années, l'IoT était encore perçu comme une technologie futuriste prometteuse, susceptible de révolutionner notre manière de vivre.

Désormais, nous sommes témoins de l'intégration de la technologie IoT dans divers aspects de notre quotidien - une liste qui continue de s'étendre sans cesse.

Dans le domaine de l'éducation, l'Internet des Objets (IoT) prend différentes formes et sert à des fins à la fois globales et spécifiques, tant pour les étudiants que pour les enseignants.

Il joue désormais un rôle indispensable dans le changement du système éducatif traditionnel. Il est évident que l'IoT présente de nombreuses applications pratiques dans le domaine de l'éducation.

Voici quelques exemples concrets d'applications des tendances de l'IoT dans le domaine de l'éducation en matière de consommation d'énergie :

- **Gestion et surveillance de l'énergie**

Minimiser les dépenses est une inquiétude majeure pour les écoles, faisant de la gestion énergétique un exemple parfait de la façon dont l'IoT est appliqué dans l'éducation.

Malgré les fermetures intermittentes des établissements scolaires imposées par la pandémie de coronavirus, la nécessité de maintenir le fonctionnement quotidien des campus persiste. Pour ce faire, l'IoT s'avère être un allié précieux.

Au cœur de l'écosystème de l'IoT, la gestion de la consommation d'énergie et d'eau est rendue possible grâce à l'emploi de compteurs intelligents LoRaWAN. Ces derniers contribuent à l'élaboration d'un cadre propice à l'enseignement et à l'apprentissage.

⁵³ *IoT in Education : How IoT is shaping the smart school*. (2023, 6 mars). Consulté le 2 août 2023, à l'adresse <https://www.mokolora.com/fr/iot-in-education/>

Les compteurs LoRaWAN, véritables outils de mesure de consommation (électricité, gaz, eau), exploitent la technologie LoRaWAN pour la transmission des données relatives à la consommation.

À titre d'exemple, ils peuvent contribuer à la détection des fuites d'eau ou des surconsommations d'énergie, à l'anticipation des besoins énergétiques et à l'ajustement de la production d'énergie en prenant en compte ces différents paramètres.

De plus, ces compteurs offrent aux consommateurs la possibilité de surveiller leur propre consommation d'énergie en temps réel, de comprendre leur utilisation de l'énergie et d'identifier les possibilités d'économies potentielles.

En outre, la connectivité LoRaWAN permet d'installer ces compteurs dans des endroits isolés tout en assurant une transmission fiable des données.



Figure 18 - prise connectée

Source: *IoT in Education : How IoT is shaping the smart school*. (2023, 6 mars). Consulté le 2 août 2023, à l'adresse <https://www.mokolora.com/fr/iot-in-education/>

- **Atmosphère confortable:**

De nos jours, il est de plus en plus fréquent d'observer l'intégration de capteurs de température et d'humidité dans les salles de classe. Ces capteurs sont en mesure d'évaluer les niveaux de température et d'humidité à l'intérieur de l'espace.

Grâce à l'utilisation de prises intelligentes connectées, il devient envisageable de réguler ces deux paramètres afin de garantir un espace d'apprentissage idéal.



Figure 19 - thermostat connecté

Source: *IoT in Education : How IoT is shaping the smart school*. (2023, 6 mars). Consulté le 2 août 2023, à l'adresse <https://www.mokolora.com/fr/iot-in-education/>

En combinant ces techniques, l'IoT peut jouer un rôle important dans la minimisation de la consommation d'énergie des écoles, ce qui se traduit par des économies financières substantielles et une contribution significative à la promotion d'un environnement plus durable.

5.7.1. Avantages de l'IOT dans l'enseignement⁵⁴

Lorsque l'Internet des objets (IoT) est mis en œuvre dans le domaine de l'éducation, il présente de multiples avantages qui entraînent des répercussions positives sur divers aspects de l'environnement scolaire. Il convient désormais d'examiner en détail certains des principaux bénéfices associés à l'intégration de l'IoT dans le contexte éducatif.

- **Optimisation de la gestion scolaire :**

Les structures éducatives peuvent bénéficier grandement de l'implémentation efficace des dispositifs IoT, offrant ainsi une amélioration significative dans divers aspects tels que la gestion des ressources financières, la réduction des coûts d'exploitation, le suivi des fournitures, ainsi que la réduction de la consommation d'électricité, parmi d'autres atouts.

- **Amélioration de l'engagement des élèves :**

L'introduction de l'IoT dans le domaine de l'éducation permet d'optimiser les cours en utilisant les retours des élèves, rendant ainsi l'apprentissage plus attrayant et efficace.

⁵⁴ *IoT in Education : How IoT is shaping the smart school*. (2023, 6 mars). Consulté le 2 août 2023, à l'adresse <https://www.mokolora.com/fr/iot-in-education/>

Ces dispositifs révolutionnaires transforment les méthodes pédagogiques traditionnelles en approches modernes et numériques, ce qui se traduit par une augmentation significative de l'engagement des élèves.

- **Enrichissement de l'expérience d'apprentissage :**

Les technologies de l'IoT présentent une opportunité de personnaliser l'environnement éducatif en fonction des besoins spécifiques des élèves, ce qui favorise un environnement d'apprentissage davantage inclusif.

Ainsi, l'application de l'Internet des Objets dans le domaine de l'éducation présente des avantages significatifs, non seulement en termes de diminution de la consommation d'énergie, mais également en ce qui concerne l'amélioration de l'apprentissage, la gestion scolaire, la participation des élèves et la sécurité.

5.8. La collecte, le transport, le stockage, et le traitement des données

5.8.1. La collecte des données

Différents capteurs permettent la collecte de données concernant les paramètres suivants : température, humidité, pression, luminosité, détection des mouvements et bien d'autres. Afin d'être traitées par informatique, elles sont converties en valeurs numériques. Elles sont, à ce stade, prêtes pour le transport.⁵⁵

5.8.2. Le transport des données

Le protocole de communication employé pour cette transmission varie en fonction du genre de capteur et du réseau. Cela peut inclure des protocoles comme Zigbee, LoRaWAN, NB-IoT, Modbus, M-Bus, ou d'autres en fonction de la situation.⁵⁶

5.8.2.1. Message Queuing Telemetry Transport⁵⁷

MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) est un protocole de messagerie qui repose sur le modèle de publication/abonnement. Il est fréquemment employé dans les communications de l'Internet des objets (IoT) en raison de sa faible utilisation de ressources, de sa fiabilité et de sa facilité d'adoption.

⁵⁵ *Capteurs IOT : une révolution pour la surveillance de température.* (2023, août 3). Consulté le 15 juillet 2023, à l'adresse <https://www.koovea.com/blog/capteurs-iot-suivi-temperature/>

⁵⁶ Echange avec Lionel Anciaux, CEO d'IOT Factory

⁵⁷ *Qu'est-ce que le protocole MQTT ? – Le protocole MQTT expliqué – AWS.* (s. d.). Amazon Web Services, Inc. Consulté le 15 juillet 2023, à l'adresse <https://aws.amazon.com/fr/what-is/mqtt>

MQTT s'avère extrêmement adapté aux communications de l'IoT grâce à sa faible empreinte, à sa consommation réduite de bande passante réseau et à sa capacité à gérer des connexions intermittentes. De plus, son modèle d'abonnement offre une grande souplesse quant à la distribution et au traitement des messages.

Fonctionnement de MQTT⁵⁸ :

Connexion : Pour débiter, un client MQTT établit une connexion avec un serveur (broker) MQTT. En règle générale, cette connexion s'effectue via le port TCP 1883 pour une liaison non sécurisée, ou le port TCP 8883 pour une connexion sécurisée utilisant SSL/TLS. Le client a la possibilité de définir une « durée de vie » pour sa connexion, indiquant la période durant laquelle le serveur doit maintenir la connexion active, même en l'absence de communication.

Publication et abonnement : Après s'être connecté, le client MQTT peut procéder à la publication de messages sur des « topics ». Ces topics sont en substance des chaînes de caractères hiérarchiques que l'utilisateur définit. Par exemple, pour indiquer la température du salon dans une maison, un topic pourrait s'intituler « maison/salon/température ». De même, un client peut souscrire à un ou plusieurs topics pour recevoir tous les messages de ces topics.

Transmission des messages : Lorsqu'un message est publié sur un topic, le serveur MQTT le distribue à tous les clients abonnés à ce topic. Les messages peuvent être assortis de différents niveaux de qualité de service, lesquels déterminent la manière dont un message est confirmé par le destinataire et quand cela se produit.

Déconnexion : Un client a la possibilité de se déconnecter du serveur à tout moment. Si une « durée de vie » a été définie lors de la connexion, le courtier mettra fin à la connexion automatiquement une fois que cette période sera écoulée.

⁵⁸ *MQTT Essentials - All core concepts explained.* (s. d.). Consulté le 15 juillet 2023, à l'adresse <https://www.hivemq.com/mqtt-essentials/>

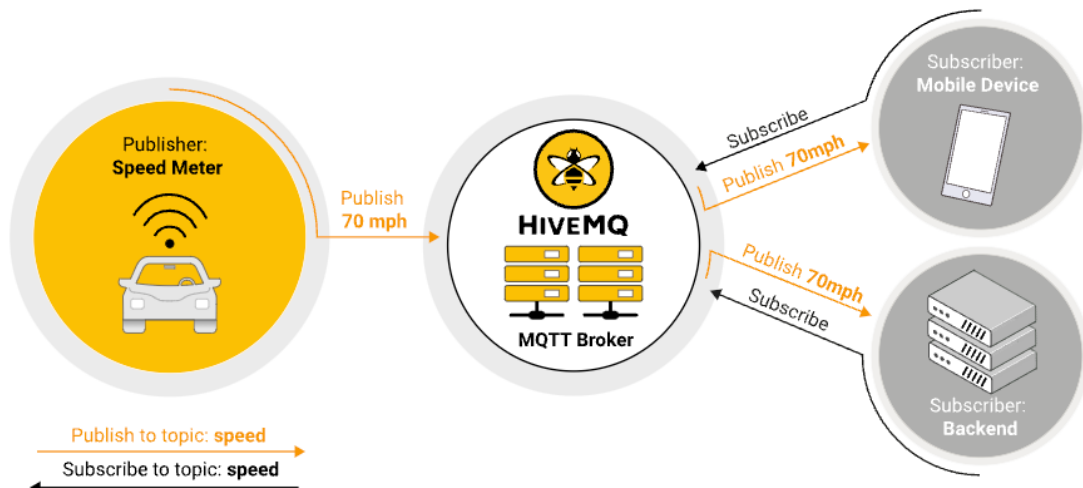


Figure 20 - Schéma MQTT

Source : Team, H. (s. d.). *Pub Sub Model | MQTT Essentials Part 3* [Vidéo]. Consulté le 15 juillet 2023, à l'adresse <https://www.hivemq.com/blog/mqtt-essentials-part2-publish-subscribe/>

5.8.2.2. Zigbee⁵⁹

Zigbee est un protocole de communication sans fil couramment employé dans les applications IoT à courte portée, notamment dans les domaines de la domotique, de la gestion énergétique et des soins de santé à domicile. Opérant dans la bande ISM de 2,4 GHz, il a été conçu pour offrir une simplicité et une économie supérieure à celles d'autres protocoles sans fil tels que le Wi-Fi ou le Bluetooth.

En utilisant un modèle de réseau maillé, chaque nœud (ou appareil) dans le réseau peut communiquer avec les autres par l'intermédiaire de multiples chemins possibles. En cas de défaillance ou d'indisponibilité d'un nœud, les données peuvent toujours être acheminées par un autre chemin, car le réseau est plus fiable.

Zigbee et MQTT sont deux technologies clés dans le domaine de l'Internet des objets, mais elles ont des applications différentes et opèrent à différents niveaux de la pile de protocoles de communication.⁶⁰

⁵⁹ *Domotique : à la découverte du protocole Zigbee.* (2021, 2 février). Consulté le 15 juillet 2023, à l'adresse <https://www.nextinpact.com/article/68066/domotique-a-decouverte-protocole-zigbee>
Zigbee ; : Quel est ce protocole pour les produits domotiques. (2023, 13 avril). Consulté le 15 juillet 2023, à l'adresse <https://www.journaldunet.fr/web-tech/dictionnaire-de-l-iot/1440710-zigbee-quel-est-ce-protocole-pour-les-produits-domotiques/>

Qu'est-ce que Zigbee ? Explication sur la technologie de réseau de lumière intelligente la plus populaire au monde. (s. d.). Consulté le 15 juillet 2023, à l'adresse <https://homey.app/fr-be/wiki/quest-ce-que-zigbee/>

⁶⁰ *Zigbee and its application in IoT alongside conversion to MQTT.* (s. d.). Consulté le 15 juillet 2023, à l'adresse <https://www.linkedin.com/pulse/zigbee-its-application-iot-alongside-conversion-mqtt-moeid-heidari/>

Zigbee et MQTT ne sont pas mutuellement exclusifs et peuvent être utilisés en tandem au sein d'un système IoT. Par exemple, des dispositifs Zigbee pourraient collecter des données et communiquer entre eux à un niveau local, puis un concentrateur ou une passerelle rassemblerait ces données et les publiant sur Internet via MQTT.⁶¹

Pour résumer, Zigbee est un protocole de communication sans fil pour connecter des dispositifs IoT sur de courtes distances, tandis que MQTT est un protocole de messagerie utilisé pour transférer les données de ces dispositifs vers un serveur ou une autre machine via Internet.

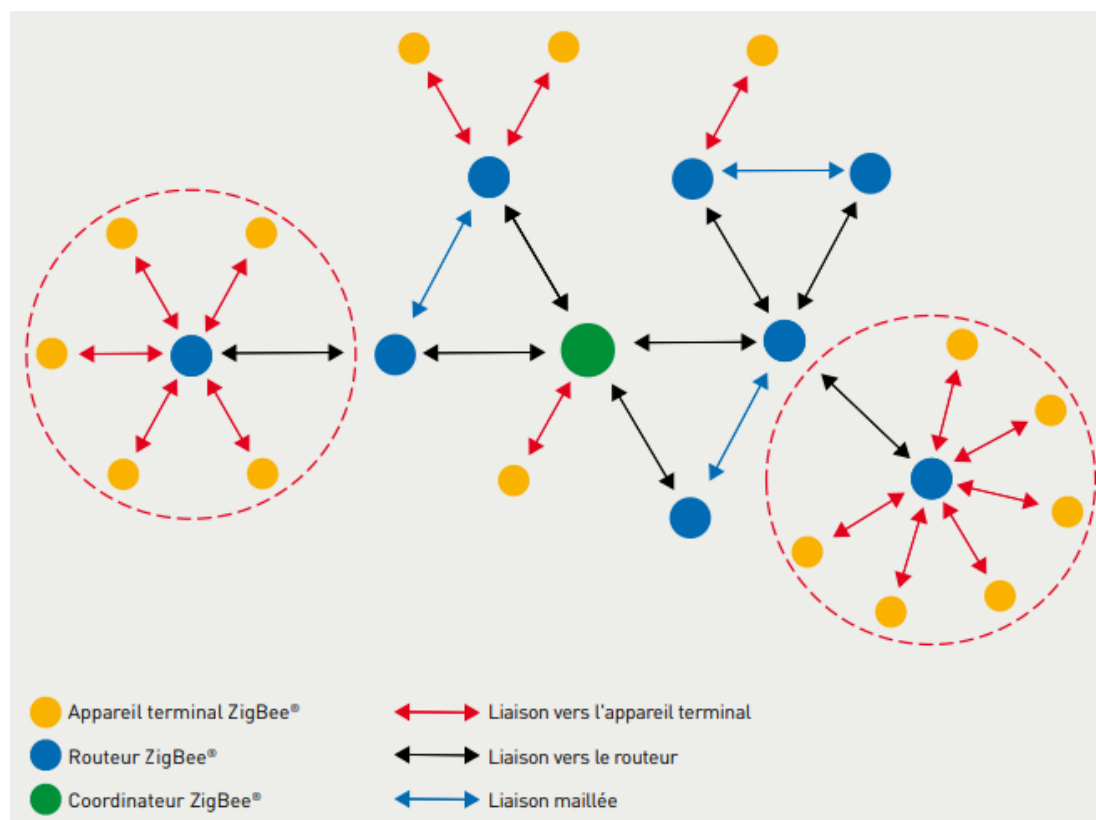


Figure 21 - schéma ZigBee

Source : Domotique : à la découverte du protocole Zigbee. (2021, 2 février). Consulté le 15 juillet 2023, à l'adresse <https://www.nextinpact.com/article/68066/domotique-a-decouverte-protocole-zigbee>

⁶¹ InfluxData. (2021, 10 décembre). *InfluxDB : Open Source Time Series Database* | InfluxData. Consulté le 15 juillet 2023, à l'adresse <https://www.influxdata.com/mqtt/>

Differences in Energy Consumption

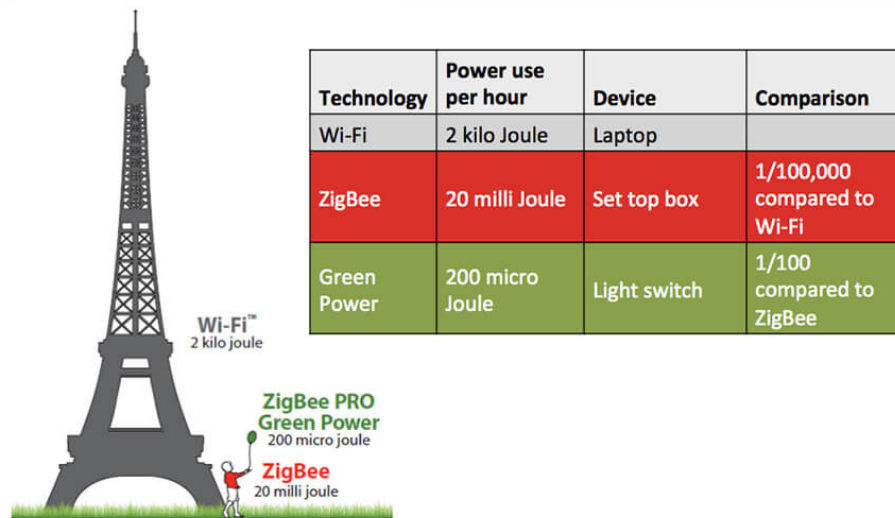


Fig.2 : Consommation électrique des différents réseaux sans fil (image via l'alliance ZigBee)

Figure 22 - consommation énergie : ZigBee

Source : *Domotique : à la découverte du protocole Zigbee*. (2021, 2 février). Consulté le 15 juillet 2023, à l'adresse <https://www.nextinpact.com/article/68066/domotique-a-decouverte-protocole-zigbee>

5.8.2.3. Modbus

Modbus⁶² est un protocole de communication de données simple et robuste qui est utilisé depuis des décennies pour faciliter la communication entre différents dispositifs électroniques. À l'origine, il a été conçu pour répondre aux besoins des systèmes de contrôle automatisé dans l'industrie. Les appareils qui emploient Modbus communiquent en suivant un modèle de communication maître-esclave, dans lequel le maître envoie des demandes de données et les esclaves répondent en fournissant ces données. Modbus peut être déployé sur divers types de liaisons de communication, incluant RS-232, RS-485 et Ethernet.⁶³

5.8.2.4. Meter-Bus

M-Bus (Meter-Bus) représente une norme européenne destinée à la lecture à distance des compteurs d'énergie, tels que ceux mesurant l'eau, le gaz ou l'électricité. Son développement visait à simplifier les échanges d'informations entre divers types de compteurs et les systèmes de contrôle centralisé. M-Bus peut être mis en œuvre sur

⁶² IOT Factory. (2022, 15 novembre). *Logiciel de supervision MODBUS - IOT Factory*. Consulté le 15 juillet 2023, à l'adresse <https://iotfactory.eu/fr/produits/logiciel-de-supervision-modbus>

⁶³ *ModBus : Définition et Explications*. (s. d.). Techno-Science.net. Consulté le 15 juillet 2023, à l'adresse <https://www.techno-science.net/definition/11406.html>

des réseaux filaires ou sans fil, ce qui offre une grande souplesse en termes d'installation.⁶⁴

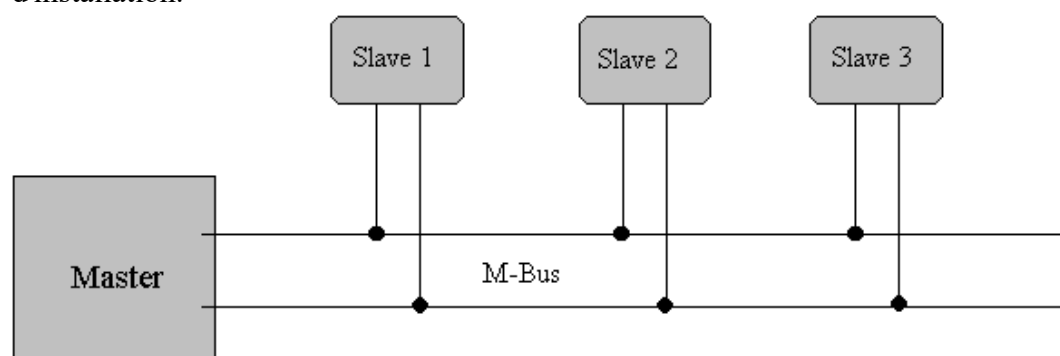


Figure 23 - Schéma M-Bus

Source : *Smart Metering : M-BUS, une option simple et élégante pour connecter un compteur d'énergie au réseau LORAWAN.* (2021, 26 juillet). Consulté le 15 juillet 2023, à l'adresse <https://iotfactory.eu/fr/smart-metering-m-bus-une-option-simple-et-elegante-pour-connecter-un-compteur-denergie-au-reseau-lorawan/>

5.8.2.5. LoRaWAN

Comme dit précédemment, LoRaWAN⁶⁵ (Long Range Wide Area Network) est un protocole de communication sans fil élaboré pour les réseaux de capteurs présentant une faible consommation énergétique et une portée étendue. LoRaWAN tire parti de la technologie LoRa (Long Range) pour établir des liaisons de communication couvrant des distances allant jusqu'à plusieurs kilomètres. Dans l'agriculture, la logistique ou encore dans le domaine des villes intelligentes, cette caractéristique le rend particulièrement adapté aux applications IoT.

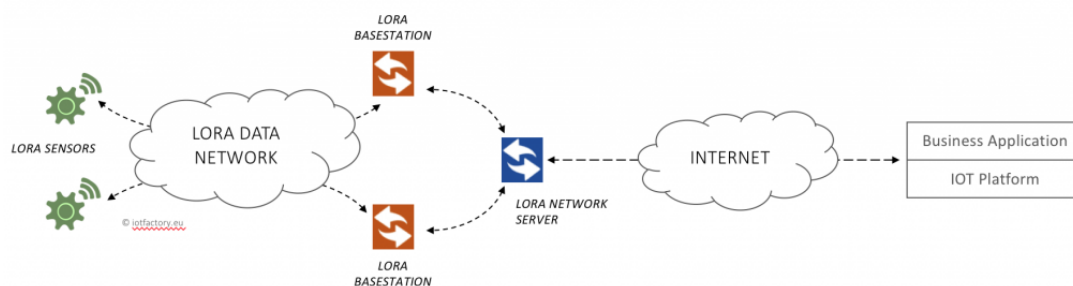


Figure 24 - schéma LoRaWan by IOT Factory

Source : <https://iotfactory.eu/fr/produits/reseau-lorawan-prive>

⁶⁴ *Smart Metering : M-BUS, une option simple et élégante pour connecter un compteur d'énergie au réseau LORAWAN.* (2021, 26 juillet). Consulté le 15 juillet 2023, à l'adresse <https://iotfactory.eu/fr/smart-metering-m-bus-une-option-simple-et-elegante-pour-connecter-un-compteur-denergie-au-reseau-lorawan/>

⁶⁵ IOT Factory. (2021, 26 juin). *Réseau LORAWAN privé - IOT Factory.* Consulté le 15 juillet 2023, à l'adresse <https://iotfactory.eu/fr/produits/reseau-lorawan-prive/>

5.8.2.6. NarrowBand-IoT

NarrowBand-IoT⁶⁶ (NB-IoT) est une technologie de communication cellulaire développée spécifiquement pour les besoins de l'IoT. Elle se caractérise par l'utilisation d'une bande passante étroite, ce qui lui permet de fournir une connectivité efficace et économique pour un grand nombre de dispositifs. Grâce à sa faible consommation énergétique et à sa capacité à pénétrer les obstacles, la NB-IoT est particulièrement adaptée aux applications IoT dans des environnements difficiles, tels que les sous-sols ou les régions rurales.⁶⁷



Figure 25 - schéma NB-IoT

Source : IOT Factory. (2021a, juin 26). *Aperçu des réseaux IOT - IOT Factory*. Consulté le 15 juillet 2023, à l'adresse <https://iotfactory.eu/fr/centre-de-formation-iot/aperçu-des-reseaux-iot/>

5.8.3. Le stockage des données

Lorsque les données émanant de divers capteurs sont transmises, il devient impératif de les entreposer au sein d'une base de données. Pour ce faire, les diverses données transmises sont préalablement reçues par un serveur, qu'il soit situé à distance ou en local. La fonction principale de ce serveur consiste à mémoriser ces informations au sein d'une base de données.⁶⁸

Pour stocker les données, les utilisateurs définissent un modèle de formatage qui consiste à les nettoyer, les transformer (les formaliser), et créer de nouvelles caractéristiques. Elles ne sont, en général, pas conservées dans leur état brut. Par

⁶⁶ Ce qu'il faut savoir sur la connectivité nb-iot. (s. d.). Consulté le 15 juillet 2023, à l'adresse <https://iotjourney.orange.com/fr-FR/connectivite/ce-qu-il-faut-savoir-sur-la-connectivite-nb-iot>

⁶⁷ IOT Factory. (2021a, juin 26). *Aperçu des réseaux IOT - IOT Factory*. Consulté le 15 juillet 2023, à l'adresse <https://iotfactory.eu/fr/centre-de-formation-iot/aperçu-des-reseaux-iot/>

⁶⁸ Johnson, J. T. (2020, 26 juin). *Choisir sa base de données IoT en cinq étapes*. LeMagIT. Consulté le 19 juillet 2023, à l'adresse <https://www.lemagit.fr/conseil/Choisir-sa-base-de-donnees-IoT-en-cinq-etapes>

exemple, vous pouvez souhaiter calculer des statistiques agrégées telles que les moyennes mobiles. Ces étapes préparent les données pour l'analyse ultérieure.⁶⁹

Les données sont stockées une fois toutes ces étapes achevées. Les bases de données SQL peuvent être traditionnelles telles que PostgreSQL ou MySQL, une base de données NoSQL comme MongoDB ou Cassandra, voire d'une base de données spécialement conçue pour le stockage de données liées à l'Internet des objets, à l'instar d'InfluxDB, spécialisée dans les séries temporelles.⁷⁰

Les données désormais enregistrées sont prêtes pour des analyses et des utilisations diverses. Elles peuvent, par exemple, servir à déclencher des alertes, détecter des tendances, transmettre des informations à un tableau de bord en temps réel, définir des modèles d'apprentissage automatique, et bien plus encore.⁷¹

5.8.4. L'analyse et la visualisation des données

Cette partie fait référence à la plateforme web et mobile d'IOT Factory représentant l'analyse et la visualisation des données.⁷²

Afin de pouvoir analyser ces données, il faut en extraire les informations significatives. Cette démarche peut englober des méthodes statistiques basiques, telles que le calcul de moyennes, de médianes, d'écart-type, et ainsi de suite. Elle peut aussi engager des analyses plus avancées, comme l'exploration de séries temporelles, le regroupement en clusters, la régression, ainsi que d'autres techniques d'apprentissage automatique. Le but est de décrypter les modèles sous-jacents aux données, d'anticiper des tendances, de repérer des anomalies, et plus encore.

La visualisation des données représente une méthode puissante pour appréhender à la fois les données et les modèles qu'elles recèlent. Cette approche peut consister à élaborer des graphiques de toute sorte

Dans le contexte d'une application IoT courante, il est possible de mettre en place un tableau de bord présentant des visualisations en temps réel des données. À titre d'exemple, il est possible d'élaborer un tableau de bord indiquant les informations relatives à la température ou au taux d'humidité d'une ou plusieurs pièces d'un bâtiment s'il est pourvu de capteurs prévus à cet effet. En outre, des graphiques historiques pourraient être intégrés pour illustrer l'évolution de ces mesures au fil du temps. Par ailleurs, il est possible de paramétrer des alertes pour vous avertir en cas de

⁶⁹ Johnson, J. T. (2020, 26 juin). *Choisir sa base de données IoT en cinq étapes*. LeMagIT. Consulté le 19 juillet 2023, à l'adresse <https://www.lemagit.fr/conseil/Choisir-sa-base-de-donnees-IoT-en-cinq-etapes>

⁷⁰ *SQL et NoSQL : quelle est la différence et lequel choisir ?* (2023, 9 juin). Consulté le 15 juillet 2023, à l'adresse <https://www.saagie.com/fr/blog/sql-et-nosql-quelle-est-la-difference-et-lequel-choisir/>

⁷¹ Échange avec CEO d'IOT Factory

⁷² Cfr. Annexe 1

dépassement de seuils dans les mesures. Une alerte serait déclenchée en cas de dépassement d'un seuil défini concernant la température d'une pièce, par exemple.

L'analyse et la représentation visuelle des données revêtent une importance primordiale pour obtenir des informations pratiques à partir des données brutes collectées par vos capteurs IoT.

5.9. Génération zéro watt

Afin de sensibiliser les écoles primaires en Wallonie à une consommation énergétique responsable, les Facilitateurs éducation-énergie⁷³ ont organisé, en octobre 2022, le challenge « Génération zéro watt »⁷⁴. Celui-ci a pris fin en mars 2023.

Commissionné par la Région wallonne, la Coopérative Courant d'air et divers partenaires dispensant une pédagogie autour de l'énergie, il est soutenu financièrement par le Fonds Leader de l'Union européenne et la Wallonie.⁷⁵

Il a pour objectif de responsabiliser les enfants sur l'économie d'énergie, de manière sérieuse, mais ludique. Les animateurs leur proposeront des activités autour du gaspillage afin de réaliser des mesures sur la diminution de leur consommation, grâce à des instruments spécifiques; le but étant d'atteindre une économie de 10% minimum.⁷⁶

1. Mise en place⁷⁷ :

À la suite de son inscription, l'établissement scolaire a reçu les consignes suivantes:

- Former une équipe, dite « l'écoteam », composée de deux adultes du corps enseignant si possible, à laquelle se serait greffé un animateur, par exemple. Cette « écoteam » devait superviser les actions menant à une économie de l'énergie.
- Choisir une classe pionnière. Dirigée par un enseignant membre de « l'écoteam », elle aurait impulsé et renforcé l'engagement civique en faveur de ces économies énergétiques. Débuter par une seule classe pionnière était plus judicieux afin de fédérer l'ensemble de l'établissement autour de ce challenge.

⁷³ « Un professionnel de l'éducation et de l'énergie à votre disposition pour monter des projets citoyens en matières d'utilisation efficiente de l'énergie dans le cadre scolaire ou parascolaire. »

Le facilitateur Education à l'Énergie à votre disposition - site énergie du Service public de Wallonie. (s. d.). Site énergie du Service public de Wallonie. Consulté le 7 août 2023, à l'adresse <https://energie.wallonie.be/fr/le-facilitateur-education-a-l-energie.html?IDC=6240>

⁷⁴ *Homepage-FR.* (2023, 31 mai). Consulté le 1 juillet 2023, à l'adresse <https://www.generationzerowatt.be/fr/home/>

⁷⁵ *Homepage-FR.* (2023, 31 mai). Consulté le 1 juillet 2023, à l'adresse <https://www.generationzerowatt.be/fr/home/>

⁷⁶ *Homepage-FR.* (2023, 31 mai). Consulté le 1 juillet 2023, à l'adresse <https://www.generationzerowatt.be/fr/home/>

⁷⁷ *Mise en place.* (2017, 30 novembre). Consulté le 1 juillet 2023, à l'adresse <https://www.generationzerowatt.be/prof/fr/le-deroulement/mise-en-place>

Sous la tutelle d'un enseignant faisant partie de « l'écoteam » et guidés par un accompagnateur, les élèves de cette classe pionnière avaient joué le rôle de super détectives, traquant les consommations d'énergie non essentielles, à travers leur établissement. Leurs investigations leur avaient permis de proposer des mesures visant à éliminer les sources diverses de gaspillage de l'énergie. Ils avaient ensuite encouragé leurs camarades des autres classes à rejoindre leur campagne de « chasse au gaspi ».

Au début du challenge, l'établissement avait reçu la visite de l'accompagnateur afin de :

- Avoir un premier contact avec « l'écoteam ».
- Mettre en place les différentes étapes du challenge.
- Établir un ordre d'actions.
- Distribuer les outils de mesures nécessaires sur la continuité du défi, ainsi que le « cahier de l'énergie ».
- En collaboration avec un technicien, mettre en place un dispositif de surveillance de la consommation électrique, positionné de manière à optimiser l'évaluation de la consommation énergétique.

Ce dispositif permettait d'améliorer la consommation et d'observer les économies d'énergie réalisées. L'engagement civique des enfants se voyait renforcé par les différents résultats obtenus : lorsqu'ils étaient bons, cela récompensait leurs efforts et les moins bons les incitaient à renforcer leurs actions.

Les différents dispositifs :

- L'outil de mesure « Écowatt » : l'écran permet de suivre en continu la consommation d'énergie.
- Le compteur électrique de l'établissement scolaire : permet un relevé de l'index de la consommation sur une période donnée. Il est cependant moins accessible.
- Utilisé plus spécifiquement sur un appareil de type chauffe-eau ou réfrigérateur, le wattmètre permet la lecture et l'enregistrement de la consommation.
- Pour une lecture journalière de la consommation, l'utilisation d'un compteur relié à une plateforme en ligne était requise.



Figure 26 - Wattmètre

Source : *Wattmètre*. (2016, 30 juin). Consulté le 1 juillet 2023, à l'adresse <https://www.generationzerowatt.be/prof/fr/le-deroulement/mise-en-place/wattmetre-2/>



Figure 27 - Compteur

Source : *Compteur*. (2016, 30 juin). Consulté le 1 juillet 2023, à l'adresse <https://www.generationzerowatt.be/prof/fr/le-deroulement/mise-en-place/compteur/>



Figure 28 - Ecowatt

Source : Ecowatt. (2016, 30 juin). Consulté le 1 juillet 2023, à l'adresse <https://www.generationzerowatt.be/prof/fr/le-deroulement/mise-en-place/ecowatt/>

Le choix du dispositif de surveillance et de mesure était fait par « l'écoteam » sous l'œil bienveillant de l'accompagnateur et après validation du personnel de direction. Les résultats obtenus étant exposés dans le hall d'entrée de l'établissement et actualisés très régulièrement, les professionnels ainsi que parents et enfants avaient la possibilité de les consulter.

L'objectif était d'éventuellement les inciter à se lancer dans des actions visant à réduire leur consommation d'énergie.

2. Audit⁷⁸

Afin d'analyser les besoins du challenge, les élèves de la classe pionnière en lien avec l'accompagnateur devaient inventorier les diverses sources de consommation non essentielle, et trouver comment remédier au gaspillage. Il fallait pour cela procéder à un audit de la consommation énergétique de l'établissement.

Lors de sa seconde visite, en novembre, l'accompagnateur assistait les enfants pour la réalisation de l'audit, leur ayant distribué le matériel nécessaire d'observation et de mesure. Ils avaient ensemble analysé les résultats et effectué un plan d'action visant à l'économie d'énergie. Il fallait ensuite trouver les moyens de stopper la consommation lors des vacances de fin d'année, pendant les fêtes de Noël. Identifier, analyser, solutionner et planifier étaient les mots du retour de l'audit. Les élèves en étaient les acteurs principaux.

⁷⁸ *Audit*. (2019, 7 décembre). Consulté le 1 juillet 2023, à l'adresse <https://www.generationzerowatt.be/prof/fr/le-deroulement/audit/>

« Les élèves mènent un audit de l'école pour identifier les opportunités d'économies d'énergie »⁷⁹:

- *Approche*

Les investigations menées par les élèves pour déterminer les sources de gaspillage et de consommation non essentielle ont abouti sur des résultats qui ont permis de cibler les appareils les plus énergivores. L'audit s'est avéré fondamental pour la mise en œuvre des actions.

- *Encadrement*

L'accompagnateur du challenge a encadré les élèves tout au long de l'audit. Il leur a fourni les outils nécessaires aux mesures ainsi que les documents servant à reporter les résultats observés.

- *Déroulement*

Trois heures réparties sur une demi-journée ont permis d'effectuer l'audit. Les différentes étapes ont été découpées comme telles :

- 15 min : Introduction par un débat durant lequel les élèves ont échangé sur l'importance de « la chasse au gaspi » au sein de l'école. Ils ont ensuite mis en commun leurs idées sur les enjeux de la consommation d'énergie.
- 45 min : Explication de la procédure d'audit : après avoir énoncé aux élèves les objectifs puis exposé le matériel d'observation et de mesure (wattmètre, thermomètre, luxmètre...) et leur avoir expliqué comment remplir les grilles de résultats, une démonstration de la procédure leur a été présentée.
- 60 min : Une visite de l'établissement scolaire a été faite par plusieurs petits groupes d'élèves. Chacun d'eux investiguait dans une section différente de l'école afin de récolter des informations et des mesures sur les différentes sources de consommation d'énergie (luminaires, système de chauffage...). L'enseignant et l'accompagnateur du challenge sont restés disponibles, répondant aux diverses questions des enfants.
- 45 min : Les résultats obtenus par les différents groupes ont été reportés sur un tableau et présentés à tous. Les rapports de chacun ont permis de relever des sources de gaspillage et autres défauts de consommation non essentielle. Des questions importantes ont été soulevées et notées pour les développer plus précisément.
- 15 min : Élaboration d'un plan d'action : la mise en commun des observations et des résultats ont permis de mettre en avant des actions à effectuer visant à limiter le gaspillage énergétique et, par conséquent, améliorer la consommation de l'électricité au sein de l'école.

- *Analyse des consommations énergétiques :*

⁷⁹ *Audit.* (2019, 7 décembre). Consulté le 1 juillet 2023, à l'adresse <https://www.generationzerowatt.be/prof/fr/le-deroulement/audit/>

Le sujet principal de ce challenge était de réduire la consommation en électricité au sein de l'école.

Les principales sources de cette consommation émanaient des divers appareils branchés sur le secteur (matériel informatique, réfrigérateurs...) et du système d'éclairage de l'établissement (lampes, appliques, plafonniers...).

Les élèves ont inventorié les équipements puis ont mesuré leur consommation en électricité. Les observations et les résultats de l'audit, effectué en journée donc en « heures pleines », ont fait ressortir les consommateurs excessifs et les non essentiels.

Il a été relevé, malgré tout, que lors des fermetures de l'école (weekends, vacances, nuits...), la consommation en électricité de celle-ci représentait 1/4⁸⁰ de la consommation totale.

Les élèves ont donc eu pour objectif de déterminer quels matériels étaient responsables de cette anomalie.

Une réflexion a été portée sur la consommation d'énergie concernant les équipements de chauffage et leur utilisation. Il a été constaté que : moins 1°C dans les locaux = une diminution de 8% de consommation d'énergie.⁸¹

Réduire le chauffage dans les établissements scolaires en périodes creuses permettrait une baisse significative de la consommation et donc le gaspillage énergétique.

3. La mobilisation au service des actions⁸²

La classe pionnière par sa campagne de sensibilisation a réussi à fédérer autour d'elle l'ensemble des élèves de l'école. Cette mobilisation a entraîné une réelle baisse de la consommation en électricité. Quelques éléments du plan d'actions mises en œuvre⁸³ :

- Éteindre les lumières des locaux inoccupés
- Supprimer la moitié de l'éclairage par les néons
- Installation de multiprises pourvues d'interrupteurs
- Débranchement des équipements non utilisés
- Éliminer les sources de consommation d'énergie inutiles avant les vacances
- Réduire le déclenchement des appareils de chauffage en baissant le niveau des vannes thermostatiques

⁸⁰ *Audit.* (2019, 7 décembre). Consulté le 1 juillet 2023, à l'adresse <https://www.generationzerowatt.be/prof/fr/le-deroulement/audit/>

⁸¹ *Audit.* (2019, 7 décembre). Consulté le 1 juillet 2023, à l'adresse <https://www.generationzerowatt.be/prof/fr/le-deroulement/audit/>

⁸² *Actions & ; apprentissages.* (2022, 21 novembre). Consulté le 1 juillet 2023, à l'adresse <https://www.generationzerowatt.be/prof/fr/le-deroulement/actions/>

⁸³ *Actions & ; apprentissages.* (2022, 21 novembre). Consulté le 1 juillet 2023, à l'adresse <https://www.generationzerowatt.be/prof/fr/le-deroulement/actions/>

- Donner à un élève différent chaque semaine la charge de la surveillance énergétique
- Rédaction de « la Charte énergie » et présentation de celle-ci aux différentes classes
- Sensibiliser le personnel de direction sur remplacement du matériel énergivore
- Etc. ...

C'est ainsi que les élèves se sont engagés dans une démarche tangible et collective pour répondre aux défis énergétiques contemporains. Toutes leurs réflexions ont donné une signification profonde à leur expérience éducative.

Ce challenge a créé un cadre sur lequel les instituteurs et institutrices ont pu s'appuyer pour renforcer les apprentissages, mais également un engouement supplémentaire des élèves pour leur travail.

Au cours de cette démarche, les élèves ont acquis des compétences leur ouvrant la voie à de nouvelles réflexions et actions à déployer.

Schéma de la démarche⁸⁴ : Audit → Actions → Apprentissages

À titre d'exemple concret de cette approche, prenons en considération la thématique du circuit électrique simple :

Audit : Les élèves ont constaté que des appareils électriques tels que des luminaires, des matériels informatiques et autres n'étaient pas utilisés de manière continue.

Actions : Les élèves, par le biais des multiprises à interrupteur, ont proposé d'éteindre les équipements inutilement allumés pour pallier au gaspillage énergétique. L'installation de programmateur ou de détecteur sur certains appareils s'est vue plus appropriée.

Apprentissages : À travers les différents équipements observés, les élèves ont été initiés au domaine de l'installation électrique (circuits, fonctionnement du courant...). Durant leur cursus scolaire, les élèves ont un cours d'« éveil-initiation » faisant parti du socle de compétences à acquérir à la fin de la 6^e année de primaire. Pour l'obtention du CEB (Certificat d'Études de Base), il est souvent posé une question à ce sujet.

Transfert : Toutes ces compétences acquises ont été mises en lien avec des situations de la vie de tous les jours. Les élèves ont appris le fonctionnement d'un circuit électrique et compris comment utiliser un interrupteur à bon escient. Comme :

⁸⁴ *Actions & ; apprentissages.* (2022, 21 novembre). Consulté le 1 juillet 2023, à l'adresse <https://www.generationzerowatt.be/prof/fr/le-deroulement/actions/>

- L'utilisation d'un interrupteur mural pour éclairer une pièce
- La fonction du disjoncteur dans un tableau de distribution
- L'utilisation de l'interrupteur d'un appareil
- Le fonctionnement du programmeur d'un appareil
- Le fonctionnement d'un détecteur de présence
- L'utilisation d'une multiprise pourvue d'un interrupteur
- L'utilisation d'un thermostat (réfrigérateur, appareil de chauffage...

La formation des personnels : Les professionnels du corps enseignant ont reçu une formation gratuite, proposée par leur établissement scolaire, concernant le cours d'« éveil-initiation scientifique » à propos du circuit électrique, leur permettant de mettre en place des activités appropriées. Avec du matériel adéquat (ampoules, conducteurs/isolants, interrupteurs, piles, cellules photovoltaïques...).

4. Des résultats encourageants⁸⁵

Grâce au challenge « Génération Zéro Watt », le meilleur résultat pour une école a été de réduire sa consommation en électricité de 56% ! Soit plus de la moitié par rapport à l'année précédente.

Cette école a également accompli un exploit en obtenant un ratio de sobriété énergétique de 68 kWh par élève et par an. Ce ratio sert à quantifier la consommation d'énergie par élève sur une année. À titre informatif et pour donner du sens à ce chiffre, il faut savoir qu'en Wallonie, la moyenne de ce ratio est de 200 kWh par élève et par an.

Ce résultat prouve l'efficacité de l'engagement des élèves et de leurs encadrants autour des actions menées pour ce challenge et les projets similaires à « Génération Zero Watt ».

⁸⁵ Cfr. Annexe 6.

6. Partie réflexion

6.1. Situation actuelle : IOT Factory

IOT Factory est une entreprise offrant différents types de capteurs, les données de ceux-ci peuvent être récupérées et monitorer via la plateforme même d'IOT Factory.

L'entreprise collabore avec plusieurs types de clientèles, principalement dans le B2B, telles que des entreprises de construction, des smartcities, des petites et grandes entreprises de distribution, ...

En d'autres termes, jusqu'à ce jour, IOT Factory a aidé une multitude d'entreprises à réduire leur consommation énergétique grâce à leurs solutions innovantes. Pour certains clients, IOT Factory a réduit la consommation énergétique jusqu'à 25 à 30%.

Cependant, il est important de noter qu'IOT Factory n'a pas d'expériences encore avec les écoles. Le problème majeur des écoles est que les solutions sont coûteuses et ils n'ont pas assez d'argent pour investir dans de telles solutions. Selon le CEO d'IOT Factory, les écoles publiques sont assez pauvres en Belgique.

Malgré le fait que l'entreprise n'a pas d'expertise spécialisée dans le secteur scolaire, elle est consciente de l'énorme potentialité du marché scolaire à saisir.

En effet, les écoles représentent bel et bien une grande zone de consommation énergétique, car elles comportent plusieurs zones notamment les salles de classe, les salles gymnastiques, les réfectoires,...

Ainsi, tous ces points font des établissements scolaires une cible assez importante pour IOT Factory.

6.2. Solutions

Dans la prochaine partie, une présentation sera faite sur la manière de réduire la consommation en énergie dans les écoles.

Faire le point sur les solutions novatrices semble être essentiel. Elles permettent, pour l'avenir des établissements scolaires, d'effectuer des économies non négligeables et durables.

Éco responsabiliser les élèves et leurs professeurs en les fédérant autour d'un projet visant à réduire l'impact environnemental est d'une importance cruciale. Nous verrons donc les actions à mettre en œuvre et les moyens techniques nécessaires.

6.2.1. Audit énergétique

En premier lieu, il faut réaliser un audit sur la consommation énergétique dans les écoles belges afin d'amorcer le processus de réduction de celle-ci.

Cet audit permet d'analyser et d'identifier les sources de consommation d'énergie. Pour cela, il est important d'inspecter les factures, les systèmes de chauffage, d'éclairage, d'étudier l'isolation des bâtiments, l'efficacité des ouvertures (fenêtres...), de faire l'inventaire des appareils branchés sur le secteur (matériels informatiques, réfrigérateurs...). Ces premières actions mettront en évidence les consommations non-essentiels et les sources de gaspillage énergétique et détermineront les solutions les plus performantes à déployer.

Un audit permettra d'établir un plan d'action en priorisant les opérations à mener, évaluer les résultats et l'efficacité des technologies mises en place ainsi que leur rentabilité. Il permettra également un suivi de l'évolution des résultats.

L'audit est finalement la première démarche qui lancera tout le processus de réflexion, d'initiatives et d'optimisation des moyens mis en œuvre pour réduire durablement la consommation énergétique dans les établissements scolaires.

6.2.1.1. Les informations pertinentes à récolter durant un audit

Un audit permet d'analyser et d'identifier les sources de consommation d'énergie et par conséquent, de cibler les anomalies de consommation et de gaspillage énergétique.

Prenons l'exemple de la consommation d'énergie d'un distributeur de boissons : s'il n'est pas débranché aux heures creuses, pendant les weekends ou encore les vacances scolaires, son éclairage représente à lui seul presque la moitié de la consommation d'énergie à l'année⁸⁶.

Il en est de même pour le système de chauffage qui, s'il était coupé durant la nuit ainsi que pendant toutes les périodes de fermeture des écoles, réaliserait 10%⁸⁷ d'économie sur la consommation d'énergie, ce qui serait plus efficace qu'une simple baisse de thermostat la nuit.

Il est également important de souligner que les pompes de circulation doivent être éteintes à partir de 16h, la régulation thermique maintenant une température hors gel.

⁸⁶ *Faire auditer le bâtiment*. (2020, 9 décembre). Consulté le 19 juillet 2023, à l'adresse <https://www.educationenergie.be/audit-des-batiments/>

⁸⁷ *Faire auditer le bâtiment*. (2020, 9 décembre). Consulté le 19 juillet 2023, à l'adresse <https://www.educationenergie.be/audit-des-batiments/>

Les matériels informatiques restant souvent en veille continuent de consommer un peu d'énergie qui représente une dépense de 1€ par an sur la facture d'électricité⁸⁸.

De plus, un tuyau d'1m avec un diamètre de 5 cm, transportant de l'eau à 60°C dans une atmosphère à 20°C, peut perdre jusqu'à 60W. Cette quantité équivaut à une ampoule de 60W allumée en permanence⁸⁹.

L'audit énergétique revêt également la capacité d'acquérir des informations précises concernant la consommation énergétique quotidienne de l'école, permettant ainsi d'identifier les anomalies de consommation. À titre d'exemple, une analyse approfondie au niveau des salles de classe pourrait mettre en lumière des fluctuations de consommation dignes d'intérêt.

Si nous prenons le cas d'une salle de classe quelconque qui présente une consommation énergétique supérieure par rapport aux autres, l'audit pourra révéler que cette salle est dotée d'ordinateurs maintenus en veille les nuits et les weekends. La solution à cette utilisation énergétique excessive pourrait s'avérer aussi simple qu'une conscientisation suivie d'un nouveau rituel : éteindre désormais ces matériels lorsqu'ils ne sont pas en usage.

De cette manière, l'audit énergétique ne se contente pas seulement d'offrir une vue d'ensemble sur les dépenses énergétiques de l'établissement scolaire, mais il dévoile aussi des indications spécifiques quant aux démarches à effectuer pour optimiser ces dépenses.

Cette approche a le potentiel de générer des économies non négligeables, tout en contribuant à une gestion environnementale plus judicieuse de l'établissement.

6.2.1.2. Frais liés à la réalisation d'un audit

Concernant les frais associés à la réalisation d'un audit, ils varient en fonction de plusieurs paramètres. Cela englobe la dimension de l'établissement scolaire, le nombre de structures et de systèmes de chauffage présents, ainsi que le niveau de détail souhaité de la part de l'auditeur, notamment pour l'estimation des frais liés aux solutions techniques nécessaires. L'emploi d'un ingénieur spécialisé dans ce domaine entraîne, en général, des tarifs oscillants entre 500 et 800 euros par jour⁹⁰, englobant les frais administratifs et les déplacements.

⁸⁸ *Faire auditer le bâtiment*. (2020, 9 décembre). Consulté le 19 juillet 2023, à l'adresse <https://www.educationenergie.be/audit-des-batiments/>

⁸⁹ *Faire auditer le bâtiment*. (2020, 9 décembre). Consulté le 19 juillet 2023, à l'adresse <https://www.educationenergie.be/audit-des-batiments/>

⁹⁰ *Faire auditer le bâtiment*. (2020, 9 décembre). Consulté le 19 juillet 2023, à l'adresse <https://www.educationenergie.be/audit-des-batiments/>

Si l'on compte le temps de préparation des réunions, des visites de l'établissement, la collecte et l'analyse des résultats, leur présentation ainsi que la rédaction du rapport, on peut envisager qu'il faudra 5 à 8 jours ouvrables pour réaliser l'audit, avec des frais qui s'élèveront entre 3 000 et 7 000 euros⁹¹.

6.2.1.3. Évaluation comparative : audit énergétique par rapport à l'emploi de capteurs et de compteurs

L'audit tire pleinement parti de l'utilisation des compteurs et des capteurs pour obtenir des données détaillées sur la consommation énergétique. Ces dispositifs jouent un rôle essentiel dans l'acquisition de données en temps réel concernant la consommation, et produisent des renseignements précieux pour obtenir une clairvoyance de l'utilisation énergétique au sein d'un établissement scolaire.

Les compteurs d'énergie sont des dispositifs qui mesurent avec précision la quantité d'électricité, de gaz ou d'eau consommée par l'établissement. Leur utilité réside dans leur capacité à repérer les périodes de pointe de consommation et à détecter d'éventuelles anomalies ou surconsommations. En surveillant en temps réel les fluctuations de consommation, les compteurs d'énergie permettent de mieux gérer et contrôler l'utilisation des ressources.

De plus, ces dispositifs ont la capacité de collecter des données à un niveau micro, telles que la consommation énergétique par classe ou par matériel. Par exemple, en plaçant des capteurs dans une salle informatique, il devient possible de détecter si les ordinateurs restent allumés en dehors des heures d'utilisation, ce qui engendre une consommation d'énergie inutile.

Les informations recueillies par le biais des dispositifs de comptage et des capteurs constituent ainsi une assise solide en vue de la réalisation d'un audit énergétique. Elles offrent aux auditeurs une compréhension approfondie des emplacements et des modalités d'utilisation de l'énergie au sein de l'établissement, permettant ainsi de formuler des solutions concrètes visant à réduire la consommation et à réaliser des économies substantielles. En d'autres termes, les compteurs et les capteurs se révèlent être des instruments incontournables pour dresser le bilan énergétique d'une école et élaborer une stratégie efficiente en matière d'économie d'énergie.

6.2.2. Isolation des bâtiments

L'adoption d'une isolation thermique performante au sein des bâtiments a la capacité de limiter les déperditions de chaleur, engendrant par conséquent une baisse de la consommation d'électricité et une réduction des dépenses liées à l'énergie. Selon les

⁹¹ *Faire auditer le bâtiment*. (2020, 9 décembre). Consulté le 19 juillet 2023, à l'adresse <https://www.educationenergie.be/audit-des-batiments/>

nécessités particulières, les méthodes et les matériaux isolants à opter peuvent présenter une grande variété. Une isolation adéquate s'ajuste aux exigences spécifiques et peut jouer un rôle crucial dans le résultat global en termes de bilan énergétique.

L'isolation thermique d'un établissement scolaire représente une procédure qui comprend la mise en place de matériaux isolants dans des emplacements stratégiques du bâtiment dans le but de réduire au maximum les déperditions de chaleur vers l'extérieur.

Au sein d'une résidence présentant une isolation insuffisante, environ 30% des pertes de chaleur surviennent par le toit, 25% s'échappent via les murs, 15% traversent les fenêtres, tandis que seulement 10% se perdent par le sol. Il devient donc crucial de réévaluer les priorités avant d'engager des travaux d'isolation, afin de garantir que les efforts soient focalisés là où ils auront le plus d'impact⁹².

6.2.2.1. Pourquoi isoler les écoles ?

Même si cela peut sembler évident, une isolation de qualité présente de multiples avantages. Indubitablement, l'isolation intégrale d'une école peut engendrer des dépenses substantielles.

Toutefois, vu les multiples bénéfices que ces aménagements peuvent procurer, ils s'avèrent souvent justifiés sur le plan financier. Voici les trois principaux atouts découlant de l'isolation thermique d'une construction.

Maintien d'une température agréable tout au long de l'année : L'isolation contribue à réguler la température à l'intérieur des établissements, créant ainsi un environnement propice à l'apprentissage, confortable, quelles que soient les saisons. Que ce soit pour préserver la chaleur en hiver ou maintenir la fraîcheur en été, l'isolation se présente comme la réponse optimale pour atténuer les fluctuations de température.

Diminution des dépenses énergétiques : L'avantage prépondérant de l'isolation réside dans sa capacité à considérablement réduire les frais énergétiques. L'isolation thermique se traduit par un véritable engagement envers l'environnement, puisqu'elle encourage l'économie d'énergie et de chaleur, entraînant une moindre sollicitation des systèmes de chauffage et une baisse de la consommation énergétique. Par conséquent, l'isolation se présente comme un investissement à la fois écologique et économique pour les établissements scolaires.

⁹² *Isolation thermique : prix, techniques et primes en Belgique.* (2023, 3 mars). Guide Renovation. Consulté le 19 juillet 2023, à l'adresse <https://www.guide-renovation.be/isolation/isolation-thermique>

Amélioration du confort d'apprentissage : Une isolation efficace garantit un environnement d'apprentissage agréable en permanence, sans que les préoccupations liées aux dépenses énergétiques n'entrent en jeu. Durant les mois d'hiver, les élèves peuvent se consacrer à leurs études dans une ambiance chaleureuse et conviviale. En conséquence, une isolation thermique de qualité contribue de manière significative au confort et à l'excellence de l'expérience éducative au sein de l'école.

6.2.2.2. Comment isoler efficacement une école ?

Pour tirer pleinement parti des bénéfices d'une isolation thermique, une installation adéquate est cruciale. Voici quelques principes fondamentaux à prendre en compte pour mettre en œuvre une isolation efficace au sein d'un établissement scolaire :

Procéder à un bilan thermique : Un bilan thermique ou bilan énergétique est un rapport élaboré par un spécialiste dans le but d'identifier et d'analyser les endroits au sein d'un établissement où se produisent des déperditions énergétiques. Cette démarche est essentielle pour définir quelles parties de l'établissement doivent être isolées en priorité.

Établir un plan d'actions prioritaires : Comme nous l'avons vu précédemment, certaines parties d'un bâtiment sont plus enclines que d'autres à occasionner des sources de gaspillage énergétique. Il devient donc crucial de hiérarchiser l'isolation dans un ordre bien défini pour maîtriser les transferts de chaleur. Les zones à isoler en priorité sont le toit, suivi des murs et de la façade, ensuite les portes et les fenêtres, et enfin le sol. Bien que certaines écoles puissent nécessiter une isolation intégrale, ce n'est pas systématiquement le cas. Le bilan thermique joue alors un rôle fondamental.

Sélectionner la méthode et les matériaux appropriés : La plupart des méthodes et la plupart des matériaux d'isolation thermique semblent relativement efficaces et résistants. Toutefois, ils ne conviennent pas tous nécessairement aux besoins spécifiques de l'établissement. Il est donc toujours recommandé de faire appel à des spécialistes en la matière afin de s'assurer de la conformité de l'installation.

Équiper l'établissement scolaire : La durabilité de votre établissement ne tiendra pas en une simple isolation thermique. Une amélioration de cette démarche est possible en mettant en place un système de ventilation et un dispositif de chauffage adéquats. En outre, l'étanchéité du bâtiment revêt une importance cruciale pour soutenir sa longévité. Cependant, ces éléments ne sont pas incontournables pour obtenir une isolation efficace. Il est recommandé de solliciter l'avis d'un spécialiste pour prendre la meilleure décision.

6.2.2.3. Frais d'installation d'une isolation thermique⁹³

En règle générale, les frais liés à l'isolation thermique peuvent varier entre 30 et 200 €/m². Cependant, ces montants peuvent connaître des variations significatives en fonction de la localisation, de l'accessibilité, de la méthode utilisée, ainsi que des matériaux sélectionnés.

Pour l'isolation des combles non aménageables, le coût moyen se situe autour de 40 €/m². Pour des combles aménageables, l'isolation par l'intérieur peut osciller entre 25 et 75 €/m². L'isolation de la toiture par l'extérieur demeure parmi les options les plus onéreuses, avec des prix allant de 110 à 215 €/m².

Pour l'isolation des murs, il est prévu en moyenne 50 €/m² pour une isolation par l'intérieur et entre 100 et 150 €/m² pour une isolation par l'extérieur. Si les murs sont creux, l'isolation peut coûter entre 15 et 30 €/m². Lorsqu'il s'agit d'une isolation intégrée, les coûts seront principalement influencés par le coefficient de résistance thermique du matériau isolant.

Pour l'isolation du sol, les tarifs se situent généralement entre 20 et 35 €/m². Pour optimiser l'efficacité énergétique de l'école, l'isolation des portes et des fenêtres peut également être envisagée, cependant cela nécessite le remplacement des cadres, avec des coûts pour de nouvelles fenêtres allant de 100 à 500 €/m².

Un autre facteur qui influe sur les coûts est le choix des matériaux. En général, la plupart des matériaux disponibles sur le marché sont adaptés à tous types d'isolation.

Bien que l'investissement initial dans l'isolation puisse sembler substantiel, il est important de prendre en compte les avantages à long terme qu'il procure. En effet, une isolation thermique de qualité peut réduire les factures énergétiques de 20 à 30%⁹⁴, ce qui représente des économies annuelles de plusieurs centaines d'euros. Cette réalité est d'autant plus vraie dans le contexte des écoles où la consommation d'énergie est souvent importante. Les économies réalisées peuvent ainsi être réinvesties dans d'autres aspects éducatifs, profitant ainsi aux élèves et à l'ensemble de la communauté scolaire.

Voici les éléments préconisés tout particulièrement pour l'isolation au sein des établissements scolaires :

⁹³ *Isolation thermique : prix, techniques et primes en Belgique*. (2023, 3 mars). Guide Renovation. Consulté le 19 juillet 2023, à l'adresse <https://www.guide-renovation.be/isolation/isolation-thermique>

⁹⁴ Humitherm. (2021, 4 mars). *Humitherm | expert en isolation de toitures, façades, murs et sols*. Consulté le 17 juillet 2023, à l'adresse https://humitherm.be/?gclid=CjwKCAjw5remBhBiEiwAxL2M9wS4nbLsrqEkZhWcvmRJ7ZHGOqKW8DNSoTODJ717IOCOND55MIHKYRoCoLsQAvD_BwE

Isolation des façades : Les murs extérieurs d'un édifice sont fréquemment responsables de pertes de chaleur significatives. En procédant à l'isolation des façades, il est possible de considérablement atténuer ces déperditions, favorisant ainsi le maintien d'une température intérieure confortable et la diminution de la consommation énergétique pour le chauffage.

Isolation de la toiture : La toiture représente l'une des zones les plus sujettes aux pertes de chaleur. En effet, la chaleur a tendance à s'élever et à s'échapper aisément par le toit en l'absence d'une isolation adéquate. Une isolation efficace de la toiture peut ainsi engendrer une réduction considérable des besoins en chauffage au sein d'un établissement scolaire.

Préconisation d'un triple vitrage pour les châssis : Le triple vitrage constitue une méthode remarquable pour améliorer l'isolation des fenêtres. Il agit efficacement en restreignant les pertes thermiques par les fenêtres, ce qui peut grandement contribuer au confort thermique au sein des salles de classe, tout en favorisant des économies d'énergie substantielles.

Veiller à fermer les portes et les fenêtres lorsque les radiateurs sont en marche : Même si cela peut paraître évident, il est important de le souligner. Lorsque les radiateurs fonctionnent et que les portes ou les fenêtres sont ouvertes, la chaleur se dissipe rapidement à l'extérieur. En maintenant les portes et les fenêtres fermées, on optimise l'efficacité du chauffage et on évite les gaspillages énergétiques.

En somme, l'isolation adéquate se révèle être un investissement rentable pour les écoles. Non seulement elle permet des économies substantielles sur les factures énergétiques, mais elle contribue également à créer un environnement intérieur plus confortable et plus sain pour les élèves et leurs enseignants.

6.2.3. Installation de capteurs de mouvements

Il existe une autre solution efficace pour amoindrir la consommation énergétique au sein des établissements scolaires : la mise en place de capteurs de mouvement connectés à des systèmes d'éclairage et à des vannes intelligentes dans les salles de classe, les couloirs, les toilettes,...

6.2.3.1. Lampes connectées

Afin d'obtenir une réduction significative de la consommation d'énergie au sein des écoles, l'installation de lampes connectées à des capteurs de mouvement peut s'avérer grandement efficace.

Ce système fonctionne comme suit :

Lorsqu'il détecte un mouvement dans un local ou un couloir, le capteur déclenche automatiquement l'allumage de l'éclairage dans cette zone. En revanche, lorsque la zone est dépourvue d'activité, l'éclairage s'éteint automatiquement. Cela garantit une optimisation de la consommation énergétique lorsque les locaux sont occupés.

Les données collectées par ces capteurs offrent des informations précises et importantes sur l'utilisation effective de l'énergie au sein de l'école. Elles peuvent mettre en évidence le niveau de fréquentation des espaces selon les heures de la journée, ainsi que ceux dont la fréquence de fréquentation est moindre. Ces données peuvent aider l'école à repérer comment économiser de l'énergie en ajustant la consommation de celle-ci.

À titre d'exemple, si les informations démontrent qu'une salle de classe est peu fréquentée après 16 heures, l'établissement peut opter pour la programmation de l'extinction automatique de l'éclairage de cette salle à cette heure précise. De la même manière, si les données signalent que certains espaces sont rarement utilisés, l'école peut prendre la décision de réduire l'intensité lumineuse dans cet espace.

En pratique, ce système repose sur la technologie des capteurs de mouvement et l'interconnexion via Internet :

Installation de capteurs de mouvement et de lampes connectées : Les capteurs de mouvement, installés dans des espaces clés de l'école, sont connectés à un réseau incluant le système d'éclairage.

Détection de mouvement : Les capteurs de mouvement opèrent en identifiant les variations de chaleur infrarouge qui se produisent lorsqu'une personne se déplace dans une zone spécifique. Une fois que le capteur détecte ce mouvement, il envoie un signal au système associé, ce qui peut déclencher diverses actions, comme l'allumage de l'éclairage ou d'autres appareils.

Activation de l'éclairage : Quand le système reçoit le signal du capteur de mouvement, il active l'éclairage des luminaires connectés dans l'espace en question.

Inactivité : Si aucune activité n'est repérée pendant un laps de temps donné, le capteur envoie un signal additionnel au système ; ainsi l'éclairage s'éteint automatiquement.

Connectivité Internet : Durant toute cette procédure, les capteurs et les luminaires connectés rassemblent des données concernant l'occupation des espaces et l'utilisation de l'éclairage. Ces données sont sauvegardées et peuvent être analysées pour appréhender les motifs d'utilisation énergétique au sein de l'établissement.

Analyse des données : Les données recueillies peuvent servir à affiner encore davantage la consommation de l'énergie. Si les données révèlent, par exemple, que

certaines salles de classe sont peu fréquentées à certains moments de la journée, l'école peut modifier les paramètres de ses luminaires connectés afin de réduire la consommation d'énergie pendant ces créneaux horaires.

Grâce à l'emploi de capteurs de mouvement et de lampes connectées, les établissements scolaires ont la capacité de diminuer leur consommation énergétique. Ils peuvent également stocker et utiliser des données en vue d'une gestion plus efficiente de l'énergie, dans le futur.

6.2.3.2. Vannes intelligentes

Associées à des capteurs de mouvement, les vannes connectées peuvent contribuer à la réduction de la consommation énergétique au sein des écoles permettant ainsi une gestion plus précise et automatisée du chauffage :

Installation des capteurs et des vannes connectées : Les capteurs de mouvement sont positionnés dans des espaces clés de l'école, tels que les salles de classe, les couloirs, la cafétéria, la bibliothèque, etc. Ces capteurs sont interconnectés avec un réseau qui intègre également des vannes connectées.

Détection du mouvement : Les capteurs de mouvement détectent les variations de chaleur infrarouge qui surviennent lorsque quelqu'un se déplace dans une pièce. Il envoie un signal au système dès qu'il détecte une activité.

Activation des vannes : Une fois que le système reçoit le signal du capteur de mouvement, il actionne l'ouverture des vannes connectées dans l'espace en question. Cela permet à l'eau chaude de circuler à travers les radiateurs et de chauffer la pièce.

Fermeture des vannes : Si le capteur ne détecte plus aucune activité, il envoie un signal au système qui permet la fermeture des vannes et par conséquent d'arrêter le chauffage en coupant le circuit de l'eau chaude.

Collecte de données : Tout au long de cette procédure, les capteurs et les vannes connectées accumulent des données relatives à l'occupation des locaux et à l'utilisation du chauffage. Ces informations sont enregistrées et peuvent être analysées afin de discerner les motifs d'utilisation énergétique de l'établissement.

Analyse des données : Les données récoltées peuvent être exploitées pour affiner davantage la consommation de l'énergie. Si les données indiquent, par exemple, que certaines salles de classe sont peu fréquentées à certains moments de la journée, l'école peut modifier les réglages de ses vannes connectées afin de réduire la consommation énergétique durant ces plages horaires.

En résumé, l'emploi de capteurs de mouvement et de vannes connectées permet aux établissements scolaires de diminuer leur consommation énergétique.

6.2.3.3. Capteurs de mouvements IOT Factory

IoT Factory propose une solution novatrice pour l'optimisation de la consommation énergétique et la surveillance des espaces grâce à un capteur de mouvement/détection de présence LoRaWAN.

Ce capteur a été spécifiquement conçu pour être facilement intégré à différentes plateformes et solutions IoT, incluant notamment la plateforme IoT Factory. Sa conception le rend polyvalent et adaptable, ce qui en fait un outil très flexible pour un large éventail d'applications.

Utilisant la technologie LoRaWAN, une solution de communication à faible consommation énergétique et à grande portée, ce capteur offre une portée allant jusqu'à 300 mètres en intérieur et jusqu'à 15 km en extérieur dans des conditions optimales⁹⁵.

Le principal objectif de ce capteur réside dans l'identification de la présence humaine ou des mouvements dans un environnement défini. Il trouve des applications diverses, incluant la sécurité, la gestion énergétique, l'automatisation domestique et la surveillance de l'occupation des espaces de travail ou de salles de réunion.

Fonctionnant grâce à une batterie, cet appareil dispose d'une autonomie d'environ 5 ans, dépendant de la fréquence de transmission des données. Les informations collectées sont ensuite transmises vers un serveur via le réseau LoRaWAN.

L'installation de ce capteur se veut simple et ne requiert aucun câblage. De plus, sa conception robuste lui confère une adaptabilité tant en intérieur qu'en extérieur. En outre, il intègre des capteurs de température et d'humidité.

En somme, le capteur de mouvement/détection de présence LoRaWAN constitue un dispositif efficace pour surveiller et gérer l'occupation et l'utilisation des espaces. Il contribue ainsi à optimiser la consommation énergétique et à renforcer la sécurité.

⁹⁵ IOT Factory. (2018, 23 septembre). *Capteur de détection de présence / mouvement LORAWAN - IOT Factory*. Consulté le 20 juillet 2023, à l'adresse <https://iotfactory.eu/fr/products/iot-sensors/capteur-de-detection-de-presence-mouvement-lorawan/>



Figure 29 - Capteur de détection de présence/ mouvement LoRaWan

Source : IOT Factory. (2018, 23 septembre). *Capteur de détection de présence / mouvement LORAWAN - IOT Factory*. Consulté le 20 juillet 2023, à l'adresse <https://iotfactory.eu/fr/products/iot-sensors/capteur-de-detection-de-presence-mouvement-lorawan/>

6.2.4. Installation de capteurs de température

Les capteurs de température peuvent jouer un rôle crucial dans la baisse de la consommation énergétique au sein des écoles, en particulier en améliorant l'efficacité des systèmes de chauffage et de climatisation. Ils offrent la possibilité de surveiller et de réguler de façon précise la température dans les différents espaces de l'établissement, tels que les salles de classe, les couloirs, les gymnases, et bien d'autres.

Voici comment le processus opère en utilisant les données collectées par les capteurs:

Surveillance de la température : Les capteurs de température collectent en continu des informations relatives à la température de chaque espace ou local. Ces informations sont ensuite acheminées vers une plateforme de gestion centralisée, généralement en temps réel.

Analyse des données : Les données collectées sont analysées afin d'identifier les schémas d'utilisation du chauffage et de la climatisation. Cela pourrait, par exemple, révéler que certaines salles sont inoccupées à certaines heures de la journée, mais continuent à être chauffées ou refroidies sans nécessité.

Automatisation du contrôle de la température : En utilisant ces analyses, des ajustements automatisés peuvent être implémentés pour moduler le chauffage et la climatisation en accord avec l'occupation effective de chaque zone. Le chauffage peut être diminué ou éteint dans les pièces non occupées.

Économies d'énergie : En supprimant le chauffage en excès et la climatisation superflue, les établissements scolaires peuvent générer des économies d'énergie considérables. Par ailleurs, en maintenant une température adéquate, le confort des élèves et de leurs professeurs est amélioré, ce qui peut influencer sur les conditions d'apprentissage et sur la productivité.

Outre les économies d'énergie directes, les informations collectées par les capteurs de température peuvent aussi servir à repérer les anomalies sur l'efficacité énergétique, telles que les espaces insuffisamment isolés qui requièrent une utilisation excessive du chauffage ou de la climatisation. En solutionnant ces problématiques, les écoles ont la possibilité de réaliser des économies d'énergie additionnelles à long terme.

L'intégration de capteurs de température directement dans les vannes de radiateurs représente une possibilité de générer des économies d'énergie. Ces vannes intelligentes sont capables de s'ouvrir et de se fermer automatiquement en réponse à la température définie pour chaque espace.

L'association astucieuse de capteurs de température et de présence offre ainsi une gestion du chauffage extrêmement précise et en temps réel, alignée sur les besoins concrets de l'établissement scolaire. Cette approche permet de réduire au maximum la consommation énergétique, tout en garantissant un niveau de confort optimal pour les élèves et leurs professeurs.

Cette approche soutient la création d'un environnement d'apprentissage qui est à la fois respectueux de l'environnement et durable.

6.2.5. Installation de capteurs de qualité de l'air

L'intégration de capteurs de qualité de l'air dans chaque salle de classe revêt une importance cruciale dans la surveillance et la gestion de l'environnement intérieur, contribuant ainsi à créer un environnement d'apprentissage plus sain et productif. La détérioration de la qualité de l'air peut avoir des conséquences délétères sur la santé et la productivité des élèves et de leurs professeurs, engendrant des maux de tête, de la fatigue et des difficultés de concentration.

En surveillant en permanence la qualité de l'air, les capteurs fournissent des données précieuses pour garantir un environnement d'apprentissage optimal.

Les capteurs de qualité de l'air peuvent mesurer divers paramètres, tels que la température, l'humidité, les taux de dioxyde de carbone (CO₂), ainsi que la présence de particules et de gaz nocifs. En détectant des taux anormaux, le capteur peut générer une alerte, avertir les occupants de la salle et, en cas d'intégration à un système de gestion de bâtiment, déclencher automatiquement des mesures correctives, comme l'activation de la ventilation ou de la purification de l'air.

Lorsque les systèmes de ventilation appropriés font défaut au sein de l'établissement scolaire ou dans un espace spécifique, l'importance des capteurs devient particulièrement évidente. En cas de dégradation de la qualité de l'air, les personnes occupant la salle peuvent intervenir en ouvrant les fenêtres pour faciliter la circulation de l'air et ainsi en améliorer sa qualité. En plus d'assurer un environnement d'apprentissage sain, cette action peut également jouer un rôle important dans la sensibilisation des élèves et du personnel à l'importance de maintenir la qualité de l'air à un niveau optimal. En les encourageant à prendre des mesures simples telles que l'aération régulière des salles, vous pouvez contribuer à créer une culture de responsabilité en matière de santé et de bien-être au sein de l'école.

Nous pouvons souligner un point crucial. L'ouverture des fenêtres pour améliorer la qualité de l'air peut en effet avoir des répercussions sur la température et l'humidité de la pièce, ce qui peut influencer la consommation énergétique pour le chauffage et la climatisation. C'est pourquoi l'utilisation de capteurs de qualité de l'air doit être soigneusement intégrée dans une stratégie globale de gestion de l'énergie et de l'environnement.

En résumé, l'installation de capteurs de qualité de l'air dans chaque salle de classe se présente comme une démarche proactive susceptible de favoriser un cadre d'apprentissage plus salubre. Cela pourrait avoir un impact positif sur le bien-être et la productivité tant des élèves que du personnel. De plus, cette initiative pourrait jouer un rôle significatif dans l'optimisation de la gestion énergétique et environnementale au sein des établissements scolaires.



Figure 30 - capteur de CO2, température, humidité,...

Source : IOT Factory. (2023b, juillet 25). *Capteur CO2, température, humidité, luminosité (WIFI)* - IOT Factory. Consulté le 20 juillet 2023, à l'adresse <https://iotfactory.eu/fr/products/iot-sensors/capteur-co2-temperature-humidite-luminosite-wifi/>

Le capteur dédié à la surveillance de la qualité de l'air intérieur opère en temps réel, supervisant des paramètres environnementaux cruciaux tels que la température, l'humidité et le taux de CO₂.

Doté d'une connexion Wi-Fi, cet appareil est pourvu d'un écran LCD couleur et d'une alarme audible qui s'active en cas de seuils dépassés. Sa valeur réside dans sa capacité à anticiper les risques sanitaires attribuables à la pollution atmosphérique et à restreindre la propagation des agents pathogènes. Les données capturées sont transmises à une plateforme logicielle ou une application mobile pour une consultation aisée, l'émission instantanée d'alertes et la compilation de rapports détaillés.

Sa polyvalence le rend adapté à divers environnements, incluant les espaces de travail, les établissements scolaires et les organismes publics. Ce dispositif est offert par IOT Factory.⁹⁶

6.2.6. Interconnexion des horaires

L'idée de connecter les emplois du temps des cours à un système informatique est considérée comme une mesure essentielle en vue d'améliorer l'efficacité énergétique dans les écoles. Cette approche a pour but d'assurer une utilisation optimale et spécifique de l'énergie, en se fondant sur la réelle occupation des salles de classe.

L'insertion de l'intelligence artificielle (IA) ainsi que l'utilisation des données en temps réel peuvent accroître l'efficacité de ce système. En assimilant les modèles d'occupation des salles de classe, l'IA présente la capacité de réguler de manière anticipative les systèmes de chauffage. Cette approche pourrait engendrer une diminution de la dépense énergétique durant les moments d'inutilisation et garantir un environnement thermique agréable au début des cours.

L'envoi de directives aux vannes connectées en vue d'activer ou de désactiver le chauffage en fonction de l'occupation des locaux est envisagé comme une méthode efficiente pour réaliser des économies d'énergie. En adoptant cette approche, le système évite de chauffer des espaces non utilisés, réduisant ainsi un gaspillage énergétique. Cependant, afin d'assurer le bon fonctionnement de ce système, une communication fiable entre le système informatique et les vannes connectées est impérative.

En résumé, cette approche a la capacité de diminuer la dépense énergétique, mais aussi de générer un cadre d'apprentissage plus plaisant pour les enfants et leurs professeurs, puisque les salles bénéficieront d'un chauffage adapté à leur usage. Cela met en évidence comment le recours avisé à la technologie peut engendrer des effets positifs tant sur l'écologie que sur l'expérience éducative.

⁹⁶ IOT Factory. (2022a, novembre 14). *Monitoring de la qualité de l'Air intérieur - IOT Factory*. Consulté le 20 juillet 2023, à l'adresse <https://iotfactory.eu/fr/produits/monitoring-de-la-qualite-de-l-air-interieur/>

6.2.7. Éducation et sensibilisation

La conscientisation et l'enseignement dispensés aux élèves et aux enseignants jouent un rôle essentiel pour réduire la consommation d'énergie dans les écoles. Bien que souvent sous-estimées, ces deux facettes exercent une influence indéniable sur l'efficacité des mesures visant à économiser l'énergie.

La sensibilisation consiste à informer les élèves et les enseignants sur les véritables enjeux énergétiques, à leur faire saisir l'importance d'adopter des comportements responsables et respectueux de l'environnement en matière d'énergie, et à leur montrer comment leurs actions quotidiennes peuvent influencer la consommation d'énergie générale de leur établissement. Cette approche peut être mise en pratique à travers divers moyens, allant des cours pédagogiques et des ateliers interactifs aux campagnes de sensibilisation déployées dans tout l'établissement.

La sensibilisation à l'économie d'énergie dépasse la simple conscientisation. Elle vise à transmettre aux élèves et aux enseignants des connaissances et compétences qu'ils peuvent appliquer pour réduire efficacement leur consommation énergétique. Cela peut englober l'apprentissage de l'utilisation plus efficiente des appareils électroniques, la compréhension de l'impact de l'éclairage et du chauffage sur la consommation, ainsi que la mise en évidence des avantages et inconvénients des différentes sources d'énergie.

Éteindre les lumières en quittant une pièce (si un détecteur de présence n'est pas installé) ou le débrancher, les appareils électroniques sont autant d'actions facilement réalisables. Même si elles peuvent sembler mineures en elles-mêmes, lorsqu'elles sont adoptées par l'ensemble des acteurs de l'école, leur effet cumulé sur la réduction de la consommation d'énergie peut être considérable.

Le succès du challenge « Génération Zéro Watt » en est un parfait exemple. Ce projet a mis en évidence que par le biais de l'éducation et de la sensibilisation des élèves et des enseignants quant à l'importance de l'économie d'énergie, ainsi qu'en les guidant sur l'adoption de comportements énergétiquement responsables, des économies d'énergie notables peuvent être obtenues.

L'éducation et la sensibilisation représentent des piliers fondamentaux au sein de toute démarche ayant pour objectif de restreindre la consommation d'énergie au sein des établissements scolaires. En consacrant des ressources à ces domaines et en motivant les élèves et les enseignants à adopter des attitudes énergétiquement responsables, les établissements scolaires ont la possibilité de réduire leur consommation d'énergie tout en inculquant à la génération future l'importance de préserver les ressources énergétiques.

7. Recommandation pour IOT Factory

Afin de soutenir les écoles dans leur démarche de réduction de la consommation énergétique, IOT Factory pourrait prendre en considération les suggestions suivantes :

- IOT Factory pourrait élaborer une solution permettant de surveiller en temps réel la consommation énergétique des établissements scolaires. Cette initiative pourrait aider les écoles à repérer les moments de pic de consommation ainsi que les occasions de diminuer leur consommation.
- Afin de simplifier l'adoption de ses solutions, IOT Factory devrait garantir que ses produits peuvent être aisément intégrés aux systèmes déjà en place dans les écoles, tels que les systèmes d'électricité (éclairage), de chauffage, de ventilation et de climatisation.
- IOT Factory pourrait dispenser des formations aux écoles concernant l'utilisation de leurs produits en vue de diminuer la consommation énergétique. Ils pourraient aussi collaborer avec les écoles pour sensibiliser les élèves à l'importance de l'économie d'énergie.
- Chaque école présente des caractéristiques distinctes et des challenges particuliers en matière de consommation d'énergie. IOT Factory pourrait fournir des solutions sur mesure afin de répondre de façon précise aux besoins spécifiques de chaque établissement.
- En tirant parti de l'intelligence artificielle et de l'apprentissage automatique, IOT Factory a la capacité d'assister les écoles dans la prédiction des tendances de consommation d'énergie et la mise en œuvre de mesures préventives en vue de restreindre cette consommation.
- IOT Factory pourrait proposer un soutien permanent aux écoles afin de garantir que celles-ci continuent de profiter de réductions durables de leur consommation d'énergie.

Si je devais adresser une recommandation à IOT Factory pour l'avenir, ce serait de développer sa propre solution d'intelligence artificielle en vue d'optimiser la gestion des données collectées par les capteurs.

Grâce à son potentiel d'apprentissage et d'adaptation, l'IA pourrait considérablement améliorer l'efficacité des systèmes existants en fournissant des analyses plus précises et des prévisions plus fiables de la consommation énergétique.

En développant en interne une intelligence artificielle de ce type, IOT Factory pourrait offrir des solutions autonomes d'une grande sophistication. Ces solutions, fondées sur une analyse continue des données en temps réel et une connaissance approfondie des tendances et des modèles de consommation énergétique, seraient en mesure de prendre des décisions intelligentes afin de maximiser l'efficacité de l'utilisation de l'énergie.

L'intégration de l'IA pourrait positionner IOT Factory en tant que pionnier dans la fourniture de solutions énergétiques intelligentes et autonomes destinées aux écoles, apportant ainsi une contribution significative à la réduction de la consommation d'énergie.

De plus, en investissant dans l'IA, IOT Factory serait en mesure d'apporter des améliorations continues à ses produits et services, alignés sur les évolutions des besoins de ses clients. Cette démarche assurerait sa pertinence et sa compétitivité sur le long terme.

8. Limitations

Tout au long de ce travail, plusieurs limitations sont survenues et qui ont influencé les conclusions de ce mémoire.

Une des premières limitations était le fait de ne pas avoir eu l'occasion de pouvoir rencontrer des personnes spécialisées telles que des responsables de pouvoirs organisateurs, dans le but de récolter leurs avis sur le sujet de ce travail. Ou encore, de rencontrer des experts dans le domaine pour récolter des critiques sur les solutions par le biais d'interviews de manière formelle.

De plus, même si ce travail se base sur la situation en Belgique, il aurait pu être intéressant d'analyser les solutions existantes dans les écoles à l'étranger. Il est bel et bien possible que d'autres établissements scolaires dans d'autres pays proposent des solutions beaucoup plus avancées dans la gestion énergétique et qui aurait pu être transférable en Belgique.

Il est à noter qu'en me lançant sur cette thématique de mémoire, je ne m'attendais pas à que celle-ci soit si complexe. Il a donc été pertinent de débiter avec une bonne compréhension du sujet pour parvenir à faire des recommandations pertinentes pour les écoles. Il a donc été judicieux d'entamer une partie théorique plus importante en abordant les sujets tels que « qu'est-ce que l'énergie ? », « qu'est-ce que la consommation d'énergie dans les écoles ? », ... pour pouvoir englober l'entièreté du spectre du sujet. Et, même dans ce cas-là, il est possible d'aller plus loin.

Enfin, ceci justifie le poids de la partie théorique qui est plus important que la partie pratique. En effet, les panneaux solaires, la consommation d'eau, la ventilation et la climatisation, la pollution entraînée par le numérique ainsi que la sécurité informatique sont également des domaines très intéressants à saisir dans la gestion énergétique. Ce sont des aspects que je n'ai pas pu aborder en détail dans mon mémoire, mais cela pourra être notamment la suite avec un autre mémoire ou alors si quelqu'un souhaite reprendre cette thématique de mémoire, il est possible de reprendre une solution et de la creuser en profondeur.

9. Conclusion

Au cours de cette étude, nous avons examiné comment l'utilisation des données provenant des compteurs de gaz et d'électricité pourrait être bénéfique pour les écoles en réduisant leur consommation énergétique. Plusieurs approches ont été suggérées, chacune apportant une contribution significative à la diminution globale de la consommation d'énergie au sein des établissements scolaires.

La collecte de données concernant la consommation d'énergie, suivie d'une évaluation pour comprendre les modalités et les zones de consommation d'énergie, peut offrir des informations cruciales pour une gestion éclairée de l'énergie. Par ailleurs, l'implémentation de luminaires et de vannes de radiateurs connectées à des capteurs de présence, ainsi que la synchronisation des emplois du temps avec le système informatique, a la capacité d'automatiser l'utilisation énergétique en accord avec la présence effective des individus.

Les vannes intelligentes, en se référant à la température optimale prédéfinie et à la détection de la présence, permettent d'ajuster l'utilisation du chauffage de manière adaptée. Parallèlement, les capteurs de qualité de l'air peuvent contribuer à un environnement sain et à une consommation d'énergie responsable en signalant les moments propices à la ventilation des pièces. Ceci répond à l'hypothèse 1, 2 et 4 énoncé au début de ce travail scientifique.

Comme mentionné dans l'hypothèse 3, l'éducation et la sensibilisation des élèves et des enseignants concernant les économies d'énergie jouent également un rôle essentiel pour encourager des comportements respectueux envers l'énergie.

Les solutions d'isolation, qui englobent l'isolation des façades et des toitures, l'adoption de fenêtres à triple vitrage et la fermeture adéquate des portes et des fenêtres, peuvent jouer un rôle majeur dans le maintien de la chaleur à l'intérieur des bâtiments. Cela peut conduire à des économies sur les factures d'électricité, même s'il est crucial de considérer les frais initiaux impliqués.

Dans l'ensemble, la mise en synergie de ces stratégies, étayée par une collecte et une analyse approfondie des données, peut conduire les écoles à réaliser des économies d'énergie significatives. Toutefois, il est important de souligner que la mise en place de ces stratégies exige une planification minutieuse ainsi qu'une gestion attentive, sans oublier un investissement initial. C'est dans l'équilibre subtil de ces facteurs que résident le challenge, ainsi que l'opportunité, de réduire la consommation énergétique grâce à la collecte et à l'analyse des données, dans les établissements scolaires.

10. Bibliographie

- À quoi sert un capteur de mesure de qualité d'air ?* | AirInspace. (2022, 30 septembre). airinspace. Consulté le 14 juillet 2023, à l'adresse <https://www.airinspace.com/articles/a-quoi-sert-un-capteur-de-mesure-de-qualite-dair/>
- Actions & ; apprentissages.* (2022, 21 novembre). Consulté le 1 juillet 2023, à l'adresse <https://www.generationzerowatt.be/prof/fr/le-deroulement/actions/>
- Actualité Informatique. (2020, 1 mai). *Définition MEMS (systèmes micro-électromécaniques)*. Consulté le 14 août 2023, à l'adresse <https://actualiteinformatique.fr/internet-of-things-iot/definition-mems-systemes-micro-electromecaniques>
- Admin. (2020, 23 septembre). *Détecteurs de mouvement et de présence/absence [Eclairage]* - Energie Plus le site. Energie Plus Le Site. Consulté le 20 juillet 2023, à l'adresse <https://energieplus-lesite.be/techniques/eclairage10/commandes/gestion-en-fonction-de-la-presence/detecteurs-de-mouvement-et-de-presence-absence/>
- Analyse de la consommation énergétique des ménages en Belgique en 2020.* (2022, 21 juin). SPF Economie. Consulté le 15 mai 2023, à l'adresse <https://economie.fgov.be/fr/publications/analyse-de-la-consommation-0>
- Aqara Smartes Heizkörperthermostat EI.* (s. d.). Consulté le 15 juillet 2023, à l'adresse <https://www.amazon.de/dp/B0B6DTSGSJ>
- Audit.* (2019, 7 décembre). Consulté le 1 juillet 2023, à l'adresse <https://www.generationzerowatt.be/prof/fr/le-deroulement/audit/>
- Audit énergétique participatif à l'école.* (s. d.). Consulté le 22 juillet 2023, à l'adresse https://environnement.brussels/sites/default/files/user_files/08.plage_fiches_action_auditecole_fr.pdf
- Budget des ménages* | Statbel. (2021, 15 septembre). Consulté le 15 juin 2023, à l'adresse <https://statbel.fgov.be/fr/themes/menages/budget-des-menages>
- Butane ou propane : quelle différence et lequel choisir ?* (2023, 7 février). Selectra. Consulté le 14 août 2023, à l'adresse <https://selectra.info/energie/propane/difference-propane-butane>
- Cam, M. L. (2018, 27 décembre). *Connaissez-vous l'histoire de l'Internet of Things ?* | NTT DATA Business Solutions France. NTT DATA Business Solutions France. Consulté le 22 juin 2023, à l'adresse <https://nttdatasolutions.com/fr/blog/connaissez-vous-lhistoire-de-linternet-of-things/>
- Capteur de consommation énergétique* | MerciYanis. (s. d.). Consulté le 17 juillet 2023, à l'adresse <https://www.merciyanis.com/capteurs-maintenance/capteur-de-consommation-energetique>
- Capteur de luminosité connecté intérieur/extérieur [Lumine Home Control]* : Amazon.com.be : Bricolage. (s. d.). Consulté le 5 juillet 2023, à l'adresse

- <https://www.amazon.com.be/luminosit%C3%A9-int%C3%A9rieur-Luminea-Home-Control/dp/B08Q3ZKRNW/>
- Capteurs d'ambiance* | Belimo. (s. d.). Consulté le 14 juillet 2023, à l'adresse https://www.belimo.com/be/fr_FR/products/sensors/product-documentation/room-sensors-air
- Capteurs IOT : une révolution pour la surveillance de température.* (2023, août 3). Consulté le 15 juillet 2023, à l'adresse <https://www.koovea.com/blog/capteurs-iot-suivi-temperature/>
- Capteurs/Compteurs* | Belimo. (s. d.). Consulté le 22 juillet 2023, à l'adresse https://www.belimo.com/be/fr_FR/products/sensors.html
- Ce qu'il faut savoir sur la connectivité nb-iot.* (s. d.). Consulté le 15 juillet 2023, à l'adresse <https://iotjourney.orange.com/fr-FR/connectivite/ce-qu-il-faut-savoir-sur-la-connectivite-nb-iot>
- Chaudière à condensation : fonctionnement, avantages, financement* | ENGIE. (s. d.). Consulté le 15 juin 2023, à l'adresse <https://particuliers.engie.fr/economies-energie/chaudiere/chaudiere-a-condensation.html>
- Chaudière à haut rendement : prix & pose.* (2022, 11 mai). Consulté le 15 juin 2023, à l'adresse <https://www.chauffage-info.be/chaudiere/haute-performance-energetique>
- Comment fonctionne l'isolation d'un bâtiment ?* (s. d.). Consulté le 19 juillet 2023, à l'adresse <https://materiaux-namur.com/magazine/319/Comment-fonctionne-l-isolation-d-un-batiment>
- Comment fonctionne un compteur communicant ? - particuliers et professionnel.* (s. d.). ORES. Consulté le 27 juillet 2023, à l'adresse <https://www.ores.be/particuliers-et-professionnels/fonctionnement-compteur-intelligent>
- Comment isoler le sol en Béton* | Portail de construction. (s. d.). Consulté le 22 juillet 2023, à l'adresse <https://strport.ru/fr/poly/kak-uteplit-betonnyi-pol>
- Compteur.* (2016, 30 juin). Consulté le 1 juillet 2023, à l'adresse <https://www.generationzerowatt.be/prof/fr/le-deroulement/mise-en-place/compteur/>
- Compteurs de gaz et d'électricité* | CWAPE. (s. d.). CWAPE. Consulté le 31 juillet 2023, à l'adresse <https://www.cwape.be/node/145#compteurs-dlectricit>
- Connaître mon code EAN - particuliers & professionnels.* (s. d.). ORES. Consulté le 27 juillet 2023, à l'adresse <https://www.ores.be/particuliers-et-professionnels/connaître-code-ean>
- Consommation d'énergie : définition.* (s. d.). Climamaison. Consulté le 15 juin 2023, à l'adresse <https://www.climamaison.com/lexique/consommation-d-energie.htm>
- Consommation d'énergie par secteur / vecteur - IWEPS.* (2023, 13 juillet). Iweps. Consulté le 20 juin 2023, à l'adresse <https://www.iweps.be/indicateur-statistique/consommation-denergie-secteur-vecteur/>

- Cooper, S. (2021, 15 mars). *What is MQTT ? - Guide to MQTT and IoT device communication*. PC & Network Downloads - PCWDLD.com. Consulté le 22 juillet 2023, à l'adresse <https://www.pcwld.com/what-is-mqtt/>
- De Futura, L. R. (s. d.). *Réseau neuronal : Qu'est-ce que c'est ?* Futura. Consulté le 2 août 2023, à l'adresse <https://www.futura-sciences.com/tech/definitions/informatique-reseau-neuronal-601/>
- Dispositif intelligent d'économie d'énergie, capteur économe en énergie à 10 fonctions.* (s. d.-a). Consulté le 7 juillet 2023, à l'adresse https://www.tiscontrol.com/fr/air_es_10f.html
- Dispositif intelligent d'économie d'énergie, capteur économe en énergie à 10 fonctions.* (s. d.-b). Consulté le 7 juillet 2023, à l'adresse https://www.tiscontrol.com/fr/air_es_10f.html
- Domotique : à la découverte du protocole Zigbee.* (2021, 2 février). Consulté le 15 juillet 2023, à l'adresse <https://www.nextinpact.com/article/68066/domotique-a-decouverte-protocole-zigbee>
- Ecowatt.* (2016, 30 juin). Consulté le 1 juillet 2023, à l'adresse <https://www.generationzerowatt.be/prof/fr/le-deroulement/mise-en-place/ecowatt/>
- Électricité et gaz : Compteur Archives.* (s. d.). Consulté le 27 juillet 2023, à l'adresse <https://www.comparateur-energie.be/blog/compteur-electrique/>
- Étude d'impact de l'augmentation du prix de l'énergie et des autres charges sur le budget des écoles.* (2022, 29 septembre). Consulté le 27 juin 2023, à l'adresse https://enseignement.catholique.be/wp-content/uploads/2022/09/doclie_noteannemethens_ag-29-09-2022.pdf
- Faire auditer le bâtiment.* (2020, 9 décembre). Consulté le 19 juillet 2023, à l'adresse <https://www.educationenergie.be/audit-des-batiments/>
- Fédération wallonie bruxelles. (2022, 30 septembre). *Circulaire 8746*. Consulté le 29 juin 2023, à l'adresse https://www.gallilex.cfwb.be/document/pdf/50526_000.pdf
- Figure 1. General Schema of IoT.* (s. d.-a). ResearchGate. Consulté le 22 juillet 2023, à l'adresse https://www.researchgate.net/figure/General-schema-of-IoT_fig1_320312800
- Figure 1. General Schema of IoT.* (s. d.-b). ResearchGate. Consulté le 3 août 2023, à l'adresse https://www.researchgate.net/figure/General-schema-of-IoT_fig1_320312800
- Fonctionnement, avantages et inconvénients, prix ; tout savoir sur le thermostat intelligent.* (s. d.). Consulté le 7 août 2023, à l'adresse <https://www.calculo.fr/eco-travaux/le-chauffage/le-thermostat-intelligent>
- Fonctionnement des capteurs de mouvement.* (s. d.). Consulté le 14 juillet 2023, à l'adresse <https://www.conrad.fr/fr/guides/installations-eclairage-et-domotique/fonctionnement-capteur-de-mouvement.html>
- Homepage-FR.* (2023, 31 mai). Consulté le 1 juillet 2023, à l'adresse <https://www.generationzerowatt.be/fr/home/>

- LES COMPTEURS INTELLIGENTS* (s. d.). Consulté le 7 juillet 2023, à l'adresse https://www.liguedh.be/wp-content/uploads/2010/01/LDH_ANALYSE_COMPTEURS_COMMUNICANTS.pdf
- Humitherm. (2021, 4 mars). *Humitherm | expert en isolation de toitures, façades, murs et sols*. Consulté le 17 juillet 2023, à l'adresse https://humitherm.be/?gclid=CjwKCAjw5remBhBiEiwAxL2M9wS4nbLsrqEkZhWcvmRJ7ZHGQkKW8DNSoTOdJ717IOCONDS5MIHKYRoCoLsQAvD_BwE
- InfluxData. (2021, 10 décembre). *InfluxDB : Open Source Time Series Database | InfluxData*. Consulté le 15 juillet 2023, à l'adresse <https://www.influxdata.com/mqtt/>
- Info, P. R. (2022, 17 novembre). Une école d'Arlon répercute une « participation aux frais d'énergie » sur tous les enfants : "Honteux, je suis. *RTL Info*. Consulté le 21 juin 2023, à l'adresse <https://www.rtl.be/actu/vos-temoignages/une-ecole-darlon-repercute-une-participation-aux-frais-denergie-sur-tous-les/2022-11-17/article/503695>
- IOT Factory. (2018, 23 septembre). *Capteur de détection de présence / mouvement LORAWAN - IOT Factory*. Consulté le 20 juillet 2023, à l'adresse <https://iotfactory.eu/fr/products/iot-sensors/capteur-de-detection-de-presence-mouvement-lorawan/>
- IOT Factory. (2021a, juin 26). *Aperçu des réseaux IOT - IOT Factory*. Consulté le 15 juillet 2023, à l'adresse <https://iotfactory.eu/fr/centre-de-formation-iot/aperçu-des-reseaux-iot/>
- IOT Factory. (2021b, juin 26). *Réseau LORAWAN privé - IOT Factory*. Consulté le 15 juillet 2023, à l'adresse <https://iotfactory.eu/fr/produits/reseau-lorawan-prive/>
- IOT Factory. (2022a, novembre 14). *Monitoring de la qualité de l'Air intérieur - IOT Factory*. Consulté le 20 juillet 2023, à l'adresse <https://iotfactory.eu/fr/produits/monitoring-de-la-qualite-de-l-air-interieur/>
- IOT Factory. (2022b, novembre 15). *Logiciel de supervision MODBUS - IOT Factory*. Consulté le 15 juillet 2023, à l'adresse <https://iotfactory.eu/fr/produits/logiciel-de-supervision-modbus>
- IOT Factory. (2023a, mai 19). *Smart Metering & Asset Tracking - IOT Factory*. Consulté le 9 juin 2023, à l'adresse <https://iotfactory.eu/>
- IOT Factory. (2023b, juillet 25). *Capteur CO2, température, humidité, luminosité (WIFI) - IOT Factory*. Consulté le 20 juillet 2023, à l'adresse <https://iotfactory.eu/fr/products/iot-sensors/capteur-co2-temperature-humidite-luminosite-wifi/>
- IOT Factory platform*. (s. d.). Consulté le 15 juillet 2023, à l'adresse <https://report.iotfactory.eu/>
- IoT in Education : How IoT is shaping the smart school*. (2023, 6 mars). Consulté le 2 août 2023, à l'adresse <https://www.mokolora.com/fr/iot-in-education/>

- IoT pour les compteurs intelligents : comment il contribue à améliorer la consommation d'énergie et les économies de coûts.* (2023, 16 mai). Consulté le 31 juillet 2023, à l'adresse <https://ts2.space/fr/liot-pour-les-compteurs-intelligents-comment-il-contribue-a-ameliorer-la-consommation-denergie-et-les-economies-de-couts/>
- IoT Technologies explained : History, examples, risks & # 038 ; future.* (2022, 22 avril). Consulté le 28 juin 2023, à l'adresse <https://www.visionofhumanity.org/what-is-the-internet-of-things/>
- Isolation par l'intérieur | Rénovation des écoles.* (s. d.). Consulté le 19 juillet 2023, à l'adresse <https://www.renovermonecole.be/fr/type-travaux/je-renove-facade/je-choisis-technique-materiaux/isolation-linterieur>
- Isolation thermique : prix, techniques et primes en Belgique.* (2023, 3 mars). Guide Renovation. Consulté le 19 juillet 2023, à l'adresse <https://www.guide-renovation.be/isolation/isolation-thermique>
- Johnson, J. T. (2020, 26 juin). *Choisir sa base de données IoT en cinq étapes.* LeMagIT. Consulté le 19 juillet 2023, à l'adresse <https://www.lemagit.fr/conseil/Choisir-sa-base-de-donnees-IoT-en-cinq-etapes>
- Kathuria, A. (2018, 4 juillet). What's new in YOLO V3 ? - Towards data science. *Medium*. Consulté le 22 juin 2023, à l'adresse <https://towardsdatascience.com/yolo-v3-object-detection-53fb7d3bfe6b>
- KWh m2 : Ce qu'il faut savoir.* (2023, 26 juillet). Consulté le 2 août 2023, à l'adresse <https://www.fournisseur-energie.com/aides-fiches-techniques/prix-kwh-m2/>
- La fonction de prépaiement - autorités publiques.* (s. d.). ORES. Consulté le 27 juillet 2023, à l'adresse <https://www.ores.be/autorites-publiques/compteur-prepaiement>
- L'audit énergétique d'un établissement scolaire.* (s. d.). Consulté le 19 juillet 2023, à l'adresse https://energie.wallonie.be/servlet/Repository/Audit_%C3%A9nerg%C3%A9tique_d.PDF?IDR=379
- Le capteur de température - Rechner Sensors.* (2019, 18 janvier). Rechner Sensors. Consulté le 7 juillet 2023, à l'adresse <https://www.rechner-sensors.com/fr/documentations/connaissance/le-capteur-de-temperature>
- Le facilitateur Education à l'Énergie à votre disposition - site énergie du Service public de Wallonie.* (s. d.). Site énergie du Service public de Wallonie. Consulté le 7 août 2023, à l'adresse <https://energie.wallonie.be/fr/le-facilitateur-education-a-l-energie.html?IDC=6240>
- Le label énergétique des nouvelles installations.* (2022, 14 janvier). Informazout. Consulté le 7 août 2023, à l'adresse <https://informazout.be/fr/installation/remplacer/labels/label-energetique-nouvelles-installations>
- Le solaire thermique – Ademe.* (s. d.). Agence de la transition écologique. Consulté le 14 août 2023, à l'adresse <https://expertises.ademe.fr/energies/energies->

[renouvelables-enr-production-reseaux-stockage/passer-a-laction/produire-chaaleur/solaire-thermique](#)

L'éclairage par détection de présence. (s. d.). Consulté le 20 juillet 2023, à l'adresse <https://www.electriciteguide.com/guide/lallumage-par-detection-de-presence.htm>

L'école élémentaire Jean Peyraud à Pierre-Bufferière | SageGlass. (s. d.). Consulté le 22 juillet 2023, à l'adresse <https://www.sageglass.com/fr/article/lecole-elementaire-jean-peyraud-pierre-bufferiere>

Leonard, G. (2021, 3 juin). *Répartition par poste de la consommation d'énergie et des émissions carbone dans les écoles - Energie Plus le site.* Energie Plus Le Site. Consulté le 15 juin 2023, à l'adresse <https://energieplus-lesite.be/donnees/consommations2/consommation-d-energie-par-batiment/repartition-par-poste-de-la-consommation-denergie-et-des-emissions-carbones-dans-les-ecoles/>

Leonard, G. (2022a, mai 10). *Consommation d'énergie et émissions carbone dans les écoles - Energie Plus le site.* Energie Plus Le Site. Consulté le 7 août 2023, à l'adresse <https://energieplus-lesite.be/gerer/energie-et-consommations/consommation-denergie-et-des-emissions-carbones-dans-les-ecoles/>

Leonard, G. (2022b, mai 10). *Isolation par l'intérieur ou par l'extérieur pour une classe ? - Energie Plus le site.* Energie Plus Le Site. Consulté le 19 juillet 2023, à l'adresse <https://energieplus-lesite.be/ameliorer/isolation/ameliorer-isolation-mur-existant/isolation-par-linterieur-ou-par-lexterieur-pour-une-classe/>

Les capteurs IoT : la solution intelligente pour économiser de l'énergie. (2022, 18 novembre). Consulté le 9 juillet 2023, à l'adresse <https://enless-wireless.com/fr/les-capteurs-iot-la-solution-intelligente-pour-economiser-de-lenergie/>

L'impact de la 5G sur les objets connectés. (s. d.). Consulté le 28 juin 2023, à l'adresse <https://www2.stardust-testing.com/blog-fr/limpact-de-la-5g-sur-les-objets-connectes>

L'importance des capteurs d'humidité. (2023, 4 juillet). Vaisala. Consulté le 7 juillet 2023, à l'adresse <https://www.vaisala.com/fr/expert-article/importance-humidity-sensors>

M2M : tout savoir sur le Machine-to-Machine. (2021, 18 janvier). www.journaldunet.fr. Consulté le 14 août 2023, à l'adresse <https://www.journaldunet.fr/web-tech/dictionnaire-de-l-iot/1100536-m2m-les-cles-pour-comprendre/>

Mayer, N. (s. d.). *Capteur d'humidité : Qu'est-ce que c'est ?* Futura. Consulté le 7 juillet 2023, à l'adresse <https://www.futura-sciences.com/maison/definitions/humidite-capteur-humidite-16419>

Milazzo, G. (2021, août 4). *Télérelève de compteurs d'énergie grâce aux capteurs IoT - RG2I.* RG2i. Consulté le 2 août 2023, à l'adresse

- <https://www.rg2i.com/blog/telereleve-de-compteurs-denergie-grace-aux-capteurs-iot/>
- Mise en place.* (2017, 30 novembre). Consulté le 1 juillet 2023, à l'adresse <https://www.generationzerowatt.be/prof/fr/le-deroulement/mise-en-place>
- ModBus : Définition et Explications.* (s. d.). Techno-Science.net. Consulté le 15 juillet 2023, à l'adresse <https://www.techno-science.net/definition/11406.html>
- MQTT Essentials - All core concepts explained.* (s. d.). Consulté le 15 juillet 2023, à l'adresse <https://www.hivemq.com/mqtt-essentials/>
- NETATMO. (s. d.). *Comment fonctionne un capteur de qualité de l'air ?* Netatmo. Consulté le 14 juillet 2023, à l'adresse <https://www.netatmo.com/fr-be/comfort-guide/air-quality-sensor>
- Prins, A. (2022, 4 octobre). *Crise énergétique : vers une diminution du chauffage dans les écoles cet hiver pour faire des économies ?* Moustique. Consulté le 20 juin 2023, à l'adresse <https://www.moustique.be/actu/enseignement/2022/10/04/crise-energetique-vers-une-diminution-du-chauffage-dans-les-ecoles-cet-hiver-pour-faire-des-economies-248141>
- Problème avec mon contacteur jour-nuit pour mon chauffe eau.* (s. d.). BricoZone. Consulté le 27 juillet 2023, à l'adresse <https://www.bricozone.be/t/probleme-avec-mon-contacteur-jour-nuit-pour-mon-chauffe-eau.60735/>
- Quelle pollution le numerique entraine-t-il sur l'environnement.* (s. d.). Consulté le 2 août 2023, à l'adresse <https://www.ecoconso.be/fr/content/quelle-pollution-le-numerique-entraine-t-il-sur-lenvironnement>
- Quels sont les meilleurs capteurs de qualité de l'air en 2023 ?* (2023, 14 juin). Consulté le 14 juillet 2023, à l'adresse https://www.frandroid.com/guide-dachat/guide-dachat-maison-connectee/1231831_quels-sont-les-meilleurs-capteurs-de-qualite-de-lair
- Qu'est ce que l'Internet des objets.* (s. d.). Consulté le 23 juin 2023, à l'adresse <https://actualiteinformatique.fr/internet-of-things-iot/quest-ce-que-iot-internet-of-things-internet-des-objets>
- Qu'est ce que l'internet des objets (IoT).* (s. d.-a). TIBCO Software. Consulté le 22 juillet 2023, à l'adresse <https://www.tibco.com/fr/reference-center/what-is-the-internet-of-things-iot>
- Qu'est ce que l'internet des objets (IoT).* (s. d.-b). TIBCO Software. Consulté le 3 août 2023, à l'adresse <https://www.tibco.com/fr/reference-center/what-is-the-internet-of-things-iot>
- Qu'est-ce que la biomasse ?* (2021, 8 juin). EDF FR. Consulté le 14 août 2023, à l'adresse <https://www.edf.fr/groupe-edf/espaces-dedies/l-energie-de-a-a-z/tout-sur-l-energie/produire-de-l-electricite/qu-est-ce-que-la-biomasse>
- Qu'est-ce que la géothermie ?* (2022, 9 février). EDF FR. Consulté le 14 août 2023, à l'adresse <https://www.edf.fr/groupe-edf/espaces-dedies/l-energie-de-a-a-z/tout-sur-l-energie/produire-de-l-electricite/qu-est-ce-que-la-geothermie>

Qu'est-ce que le protocole MQTT ? – Le protocole MQTT expliqué – AWS. (s. d.). Amazon Web Services, Inc. Consulté le 15 juillet 2023, à l'adresse <https://aws.amazon.com/fr/what-is/mqtt>

Qu'est-ce que Zigbee ? Explication sur la technologie de réseau de lumière intelligente la plus populaire au monde. (s. d.). Consulté le 15 juillet 2023, à l'adresse <https://homey.app/fr-be/wiki/quest-ce-que-zigbee/>

Qu'est-ce qu'un capteur de mouvement ? - Définition de techopedia - matériel 2023. (2023). Icy Science. Consulté le 14 juillet 2023, à l'adresse <https://fr.theastrologypage.com/motion-sensor>

Qu'est-ce que le mazout ? (s. d.). Consulté le 14 août 2023, à l'adresse <https://www.mazout-on-line.be/fr/le-mazout-de-a-a-z/tout-savoir-sur-le-mazout/quest-ce-que-le-mazout/>

Sécurité de l'IoT (sécurité de l'internet des objets). (2020, 29 avril). Consulté le 2 août 2023, à l'adresse <https://actualiteinformatique.fr/cybersecurite/securite-de-liot-securite-de-linternet-des-objets>

Silamp France. (s. d.). *Capteurs de luminosité.* Consulté le 7 juillet 2023, à l'adresse <https://www.silamp.fr/collections/capteurs-de-luminosite>

Smart Metering : M-BUS, une option simple et élégante pour connecter un compteur d'énergie au réseau LORAWAN. (2021, 26 juillet). Consulté le 15 juillet 2023, à l'adresse <https://iotfactory.eu/fr/smart-metering-m-bus-une-option-simple-et-elegante-pour-connecter-un-compteur-denergie-au-reseau-lorawan/>

SQL et NoSQL : quelle est la différence et lequel choisir ? (2023, 9 juin). Consulté le 15 juillet 2023, à l'adresse <https://www.saagie.com/fr/blog/sql-et-nosql-quelle-est-la-difference-et-lequel-choisir/>

Statistiques électricité. (s. d.). FEBEG Fédération Belge des Entreprises Électriques et Gazières. Consulté le 15 juin 2023, à l'adresse <https://www.febeg.be/fr/statistiques-electricite>

Team, H. (s. d.). *Pub Sub Model | MQTT Essentials Part 3* [Vidéo]. Consulté le 15 juillet 2023, à l'adresse <https://www.hivemq.com/blog/mqtt-essentials-part2-publish-subscribe/>

Technologie de l'information. (2022, 11 juin). *BDC.ca.* Consulté le 14 août 2023, à l'adresse <https://www.bdc.ca/fr/articles-outils/boite-outils-entrepreneur/gabarits-documents-guides-affaires/glossaire/technologie-de-l-information>

TO (Technologie opérationnelle). (s. d.). Capterra. Consulté le 14 août 2023, à l'adresse <https://fr.capterra.be/glossary/247/operational-technology-ot>

Tout savoir sur le compteur de gaz en Belgique. (2022, 21 juin). Consulté le 31 août 2023, à l'adresse <https://www.comparateur-energie.be/blog/tout-savoir-sur-le-compteur-de-gaz-en-belgique/>

Tout savoir sur l'isolation thermique. (s. d.). Consulté le 19 juillet 2023, à l'adresse <https://www.quelleenergie.fr/economies-energie/isolation-thermique>

Un pacte vert pour l'Europe. (s. d.). Commission européenne. Consulté le 7 août 2023, à l'adresse https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_fr

- United Nations. (s. d.). *COP26 : Ensemble pour notre planète | Nations unies*. Consulté le 15 juin 2023, à l'adresse <https://www.un.org/fr/climatechange/cop26>
- Van Kasteel, J. (2023, 13 mars). *Dans cette école, des enfants de 9 ans ont réduit la consommation électrique de 27 %*. DHnet. Consulté le 15 juin 2023, à l'adresse <https://www.dhnet.be/regions/charleroi/2023/03/13/dans-cette-ecole-des-enfants-de-9-ans-ont-reduit-la-consommation-electrique-de-27-X6LIMCUEJZCZXASN5ZHCDILHNY/>
- Voici comment choisir le compteur d'électricité adéquat*. (2022, 15 décembre). Consulté le 2 août 2023, à l'adresse <https://www.monenergie.be/blog/voici-comment-choisir-le-compteur-delectricite-adequat/>
- Watrinet, E. (2023, 7 juin). *Empreinte carbone : définition, principes et méthodes de calcul*. Carbo. Consulté le 14 août 2023, à l'adresse <https://www.hellocarbo.com/blog/reduire/empreinte-carbone-definition/>
- Wattmètre*. (2016, 30 juin). Consulté le 1 juillet 2023, à l'adresse <https://www.generationzerowatt.be/prof/fr/le-deroulement/mise-en-place/wattmetre-2/>
- XPair. (s. d.). *Consommation d'énergie - définition*. XPair. Consulté le 15 juin 2023, à l'adresse <https://www.xpair.com/lexique/definition/consommation-energie.htm>
- Zigbee and its application in IoT alongside conversion to MQTT*. (s. d.). Consulté le 15 juillet 2023, à l'adresse <https://www.linkedin.com/pulse/zigbee-its-application-iot-alongside-conversion-mqtt-moeid-heidari/>
- Zigbee ; : Quel est ce protocole pour les produits domotiques*. (2023, 13 avril). Consulté le 15 juillet 2023, à l'adresse <https://www.journaldunet.fr/web-tech/dictionnaire-de-l-iot/1440710-zigbee-quel-est-ce-protocole-pour-les-produits-domotiques/>

11. Glossaire

- **MEMS** : un Systèmes micro électromécaniques est une petite machine intégrant des éléments mécaniques et électroniques. Sa taille peut aller de quelques millimètres à moins d'un micromètre, soit plus fin qu'un cheveu humain.⁹⁷
- **OT** : Technologie opérationnelle se rapporte aux opérations tangibles et concerne les communications entre les appareils physiques et leurs systèmes associés.⁹⁸
- **IT** : Technologie de l'information englobe les équipements, logiciels et systèmes de stockage d'une entreprise pour gérer et sécuriser ses données, facilitant les interactions et transactions numériques.⁹⁹
- **M2M** : Machine to machine est un système où les machines échangent automatiquement des informations entre elles sans intervention humaine, via des technologies réseau filaires ou sans fil.¹⁰⁰
- **Mazout** : Le mazout de chauffage, dérivé du pétrole brut et utilisé principalement en Belgique, est extrait via un processus de distillation qui produit également gaz, essence et kérosène.¹⁰¹
- **Propane-butane** : Le propane-butane, souvent appelé « GPL » (Gaz de Pétrole Liquéfié), est un mélange de gaz propane et butane, utilisé comme carburant ou pour des usages domestiques comme le chauffage ou la cuisson.¹⁰²
- **Empreinte carbone** : mesure l'impact des émissions de gaz à effet de serre d'une activité, exprimé en CO2 équivalent, englobant à l'échelle d'un pays les

⁹⁷ Actualité Informatique. (2020, 1 mai). *Définition MEMS (systèmes micro-électromécaniques)*. Consulté le 14 août 2023, à l'adresse <https://actualiteinformatique.fr/internet-of-things-iot/definition-mems-systemes-micro-electromecaniques>

⁹⁸ *TO (Technologie opérationnelle)*. (s. d.). Capterra. Consulté le 14 août 2023, à l'adresse <https://fr.capterra.be/glossary/247/operational-technology-ot>

⁹⁹ Technologie de l'information. (2022, 11 juin). *BDC.ca*. Consulté le 14 août 2023, à l'adresse <https://www.bdc.ca/fr/articles-outils/boite-outils-entrepreneur/gabarits-documents-guides-affaires/glossaire/technologie-de-l-information>

¹⁰⁰ *M2M : tout savoir sur le Machine-to-Machine*. (2021, 18 janvier). *www.journaldunet.fr*. Consulté le 14 août 2023, à l'adresse <https://www.journaldunet.fr/web-tech/dictionnaire-de-l-iot/1100536-m2m-les-cles-pour-comprendre/>

¹⁰¹ *Qu'est-ce-que le mazout ?* (s. d.). Consulté le 14 août 2023, à l'adresse <https://www.mazout-online.be/fr/le-mazout-de-a-a-z/tout-savoir-sur-le-mazout/quest-ce-que-le-mazout/>

¹⁰² *Butane ou propane : quelle différence et lequel choisir ?* (2023, 7 février). *Selectra*. Consulté le 14 août 2023, à l'adresse <https://selectra.info/energie/propane/difference-propane-butane>

émissions des ménages, la production intérieure et celles des produits importés.¹⁰³

- **Biomasse** : est une énergie issue de la combustion ou de la fermentation de matières organiques comme le bois, les végétaux et les déchets, utilisée depuis la préhistoire pour produire de la chaleur et, plus récemment, de l'électricité dans des centrales dédiées.¹⁰⁴
- **Solaire thermique** : est une technique renouvelable qui convertit le rayonnement solaire en chaleur, utilisée notamment pour l'eau chaude, le chauffage, le rafraîchissement des bâtiments et la production industrielle, à différencier du solaire photovoltaïque qui génère de l'électricité.¹⁰⁵
- **Géothermie** : transforme la chaleur souterraine de la Terre en électricité grâce à l'eau très chaude dans les nappes. Cette transformation n'est possible que dans certains pays.¹⁰⁶

¹⁰³ Watrinet, E. (2023, 7 juin). *Empreinte carbone : définition, principes et méthodes de calcul*. Carbo. Consulté le 14 août 2023, à l'adresse <https://www.hellocarbo.com/blog/reduire/empreinte-carbone-definition/>

¹⁰⁴ *Qu'est-ce que la biomasse ?* (2021, 8 juin). EDF FR. Consulté le 14 août 2023, à l'adresse <https://www.edf.fr/groupe-edf/espaces-dedies/l-energie-de-a-a-z/tout-sur-l-energie/produire-de-l-electricite/qu-est-ce-que-la-biomasse>

¹⁰⁵ *Le solaire thermique – Ademe*. (s. d.). Agence de la transition écologique. Consulté le 14 août 2023, à l'adresse <https://expertises.ademe.fr/energies/energies-renouvelables-enr-production-reseaux-stockage/passer-a-l'action/produire-chaleur/solaire-thermique>

¹⁰⁶ *Qu'est-ce que la géothermie ?* (2022, 9 février). EDF FR. Consulté le 14 août 2023, à l'adresse <https://www.edf.fr/groupe-edf/espaces-dedies/l-energie-de-a-a-z/tout-sur-l-energie/produire-de-l-electricite/qu-est-ce-que-la-geothermie>