

Communications et technologies IoT

Rapport Topic 1 - Industry 4.0

Industry 4.0 Topic 1: Concevoir une solution permettant aux fabricants de surveiller la consommation d'énergie et de surveiller à distance la consommation d'énergie de leurs machines.

Sommaire

Sommaire	1
Contexte et enjeux	2
Problématique	2
L'industrie 4.0 et cas d'usages	2
Architecture IoT	3
Compteurs d'énergie	3
PLC (Programmable Logic Controllers)	3
Gateway	4
Serveur cloud ou serveur local	4
Interface utilisateur (UI)	4
Communication entre les composants	5
Implémentation et déploiement	6
Exigences fonctionnelles	6
Sécurité	6
Disponibilité	7
Accessibilité et Interopérabilité	7
Bilan et perspectives de développement	7
Maintenance Prédictive et IA	7

Contexte et enjeux

L'optimisation de la consommation d'énergie est devenue un enjeu majeur pour les fabricants, en raison de la pression croissante exercée par la **transition énergétique**, les **réglementations environnementales** et la nécessité de **réduire les coûts d'exploitation**.

En France, **25% de l'énergie est consommée par l'industrie**. Les machines industrielles, qui représentent une part significative de la consommation énergétique dans les secteurs de la production et de la fabrication, sont souvent utilisées sans une surveillance adéquate de leur consommation d'énergie. Cela peut conduire à une inefficacité énergétique, des pannes imprévues et un manque de visibilité sur l'impact écologique de la production.

Le secteur du bâtiment tertiaire ainsi que celui de l'industrie représentent chacun près de **20% des émissions de Gaz à Effet de Serre** (GES).

Problématique

Dans ce contexte, il devient impératif pour les fabricants de disposer d'outils permettant non seulement de **suivre en temps réel la consommation d'énergie de leurs machines**, mais aussi de pouvoir **analyser ces données pour identifier des opportunités d'optimisation**.

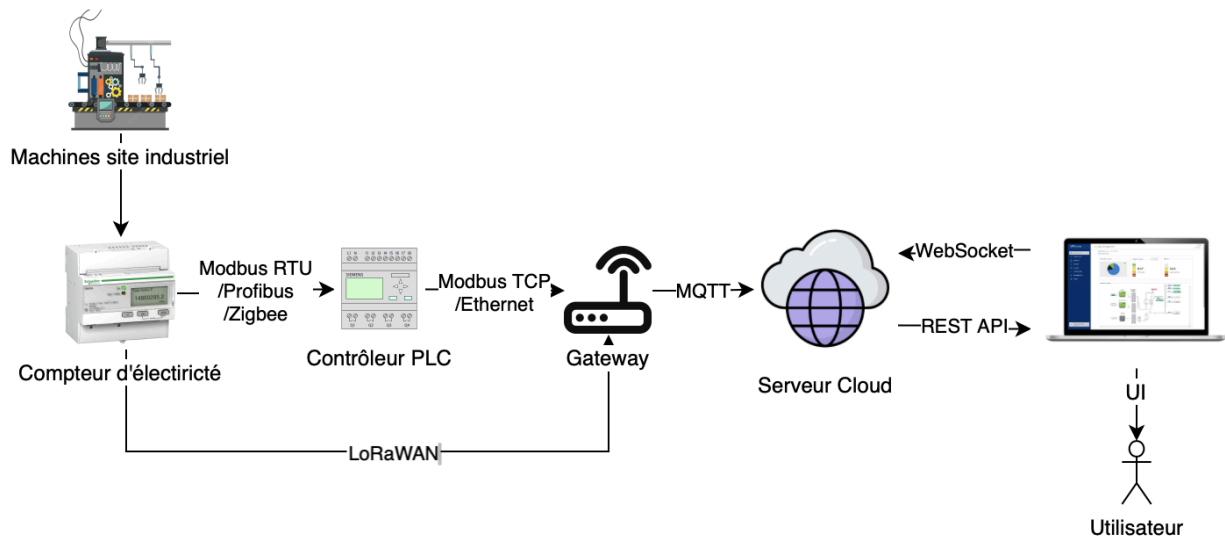
La capacité de surveiller à distance l'efficacité énergétique des équipements permet également d'agir rapidement pour **prévenir les dysfonctionnements**, ajuster les processus en temps réel et **réduire l'empreinte énergétique globale**.

L'industrie 4.0 et cas d'usages

L'industrie 4.0, également appelée la quatrième révolution industrielle, repose sur l'intégration des technologies avancées, telles que l'Internet des objets (IoT), l'intelligence artificielle (IA) et la robotique, dans les processus de production.

Ces innovations ont pour but de rendre les usines plus intelligentes, flexibles et efficaces. Dans ce contexte, **la gestion optimale de l'énergie devient un enjeu majeur pour les fabricants, tant sur le plan économique qu'environnemental**.

Architecture IoT



Compteurs d'énergie

Ils constituent des dispositifs essentiels pour mesurer la consommation d'énergie de chaque machine. Ils peuvent être soit mécaniques ou numériques. Les **compteurs intelligents ou "smart meters"** sont privilégiés car ils sont capables de : mesurer la consommation d'énergie en temps réel avec une haute précision; envoyer des données via des protocoles de communication (comme Modbus, MQTT, etc.) vers une passerelle et offrir des fonctionnalités avancées comme la détection de pics de consommation, la gestion des pannes, etc.

Ils sont **compatibles avec les protocoles industriels** : **Modbus, BACnet** ou OPC UA sont les plus utilisés dans les environnements industriels pour assurer la compatibilité avec les machines et les équipements existants.

PLC (Programmable Logic Controllers)

Les **PLC** sont utilisés pour **contrôler divers processus et machines**.

Nous pouvons déployer par exemple le **Siemens S7 Series** qui est l'une des plus populaires dans l'industrie. Elle offre une large gamme de modèles adaptés à différents besoins, allant des petites applications aux systèmes complexes ou le **Schneider Electric Modicon** réputé pour sa robustesse et sa capacité à gérer des environnements difficiles.

Dans des applications où les capteurs envoient des données à un serveur pour une surveillance à distance, **la gateway peut suffire**. Les données peuvent être analysées directement sur le serveur, éliminant ainsi le besoin d'un contrôleur local. Cela simplifie l'architecture du système et peut être particulièrement avantageux dans des applications de surveillance à distance ou des

projets IoT. Toutefois, ***pour des systèmes plus complexes nécessitant un contrôle local ou des décisions en temps réel, un contrôleur pourrait toujours être nécessaire.***

Gateway

La passerelle est l'élément central pour la communication entre les capteurs (compteurs d'énergie) et le système central (cloud ou serveur local). Elle permet la collecte des données provenant de multiples machines (via Modbus, OPC, ou MQTT, par exemple); le traitement local des données pour réduire la latence et alléger les communications vers le serveur central et la transmission des données vers le cloud ou un serveur local via des protocoles comme MQTT, HTTP, ou encore CoAP.

MQTT est un protocole léger et efficace qui permet une transmission de données en temps réel, avec une faible consommation en bande passante. Il est donc ***adapté à des environnements industriels où plusieurs appareils communiquent simultanément.***

Les passerelles modernes sont capables de se connecter facilement à des plateformes cloud (comme AWS IoT, Microsoft Azure IoT), permettant ainsi de stocker et d'analyser les données à distance.

Serveur cloud ou serveur local

Le ***serveur central peut être un cloud privé, un cloud public*** (comme AWS, Azure IoT, ou Google Cloud IoT), ***ou un serveur local.*** Le choix du cloud permet une scalabilité et une gestion des données à distance en temps réel. Cependant, on pourra privilégier un serveur local pour des raisons de sécurité ou de latence réduite.

Les données collectées par les compteurs et envoyées à la passerelle sont transmises au serveur où elles sont stockées et analysées.

Interface utilisateur (UI)

L'interface utilisateur permet aux opérateurs et aux responsables de la production de visualiser et d'interagir avec les données collectées sur la consommation d'énergie. Cette interface peut être développée sous forme de ***tableaux de bords (dashboards) via une application web ou mobile.***

Les applications basées sur le web permettent un accès à distance facile, quel que soit l'endroit. De plus, elles permettent une ***visualisation graphique des données***, ce qui est crucial pour une prise de décision rapide.

Pour les responsables qui doivent être en déplacement ou sur le terrain, une application mobile ou une version mobile de l'interface web permet d'accéder aux données en temps réel.

Parmi les fonctionnalités, nous aurons :

- Affichage de graphes et de tableaux récapitulatifs pour visualiser la consommation d'énergie en temps réel et sur une période donnée.
- Alertes personnalisées en cas de dépassement des seuils de consommation.

- Outils d'analyse pour suivre les tendances de consommation et optimiser l'efficacité énergétique.

Pour le développement frontend de l'IU, nous utilisons des frameworks comme React, Angular ou Vue.js pour créer une interface dynamique. Concernant le côté backend, Node.js, Python (Flask ou Django) ou Java (Spring Boot) pour gérer les requêtes et la logique métier.

Communication entre les composants

1. Capteurs d'énergie vers PLC

- Processus : Les capteurs d'énergie (comme les compteurs) collectent des données de consommation et les envoient au PLC.
- Protocoles Utilisés :
 - **Modbus RTU** : Un protocole de communication série utilisé pour la communication entre les capteurs et le PLC.
 - **Profibus** : Utilisé pour des applications industrielles, permettant une communication rapide et fiable.
 - **Zigbee** : Offre un débit de données plus élevé et une communication bidirectionnelle, ce qui permet au PLC de recevoir des données en temps réel et d'envoyer des commandes aux capteurs si nécessaire.

2.a PLC vers Gateway

- Processus : Le PLC traite les données reçues des capteurs et les transmet à la gateway pour une communication ultérieure.
- Protocoles Utilisés :
 - **Modbus TCP** : Une version Ethernet du Modbus, permettant une communication sur des réseaux IP.
 - **Ethernet/IP** : Utilisé pour la communication en temps réel dans les systèmes d'automatisation.

2.b Compteur vers Gateway

- Processus : Le compteur envoie périodiquement des données à la gateway. Cela peut se faire à intervalles réguliers ou en réponse à des événements spécifiques (comme un seuil de consommation atteint).
- Protocoles Utilisés :
 - **LoRaWAN** : Le compteur utilise LoRaWAN pour envoyer des paquets de données à la gateway. Ce protocole est conçu pour des transmissions de petites quantités de données sur de longues distances, ce qui est parfait pour les applications de surveillance de la consommation énergétique.

3. Gateway vers Serveur/Cloud

- Processus : La gateway envoie les données traitées vers un serveur ou un cloud pour le stockage et l'analyse.
- Protocoles Utilisés :

- **MQTT** : Un protocole léger de messagerie, idéal pour les communications IoT, permettant une transmission efficace des données.
- **HTTP/HTTPS** : Utilisé pour les communications web, permettant l'envoi de données vers des API RESTful sur le cloud.

4. Serveur/Cloud vers Interface Utilisateur

- **Processus** : Les données analysées sont envoyées à l'interface utilisateur pour visualisation et interaction.
- **Protocoles Utilisés** :
 - **WebSocket** : Permet une communication bidirectionnelle en temps réel entre le serveur et l'interface utilisateur.
 - **REST API** : Utilisé pour récupérer des données et envoyer des commandes à partir de l'interface utilisateur.

Actionneurs

Après avoir détecté une consommation d'énergie excessive via les capteurs, l'IA ou le système de gestion énergétique pourrait envoyer des instructions aux actionneurs pour ajuster automatiquement les paramètres de fonctionnement des machines (par exemple, ralentir la vitesse de production, réduire la consommation d'énergie, ou même éteindre certaines machines dans les cas extrêmes).

Les actionneurs peuvent prendre plusieurs formes, comme des moteurs, des vannes, des dispositifs de régulation de vitesse ou des systèmes d'arrêt d'urgence. Leur intégration dans le système IoT permet non seulement de surveiller la consommation d'énergie, mais aussi d'agir de manière proactive pour optimiser l'efficacité énergétique.

Implémentation et déploiement

La mise en place de la solution se déroule en plusieurs étapes :

- **Phase de test** : Test des compteurs d'énergie, passerelles et de l'interface utilisateur dans un environnement contrôlé.
- **Phase de déploiement** : Installation des compteurs, configuration des passerelles, et déploiement de l'interface utilisateur.
- **Formation et accompagnement** : Formation du personnel pour l'utilisation de la solution et la prise en charge des alertes.

Coûts de la connectivité

Les coûts associés à la connectivité IoT peuvent varier en fonction des protocoles choisis. Les solutions basées sur des réseaux privés (par exemple, LoRaWAN) peuvent avoir **un coût de déploiement initial plus élevé mais offrir des avantages à long terme en termes de réduction des coûts de connectivité**. D'un autre côté, les solutions qui utilisent des protocoles

basés sur Internet comme MQTT ou HTTP peuvent être ***plus rentables en termes de coût d'exploitation, mais peuvent souffrir de limitations en termes de portée ou de sécurité***. Il est donc essentiel de trouver un équilibre en fonction des besoins spécifiques du fabricant.

Exigences fonctionnelles

Sécurité

Authentification et Autorisation : L'accès au système doit être protégé par des mécanismes d'authentification robustes (par exemple, par mot de passe complexe, biométrie ou authentification multifactorielle). Seuls les utilisateurs autorisés doivent pouvoir consulter ou modifier les paramètres de la solution.

Chiffrement des données : Toutes les données transmises entre les dispositifs (machines, capteurs) et le serveur doivent être chiffrées (par exemple, en utilisant des protocoles comme TLS/SSL) pour éviter toute interception ou manipulation des informations.

Gestion des rôles et permissions : Le système doit permettre la gestion fine des rôles et des droits des utilisateurs (administrateur, technicien, opérateur, etc.), avec des niveaux d'accès adaptés à chaque profil.

Sécurisation des endpoints : Les dispositifs de collecte de données (capteurs, API, serveurs) doivent être protégés contre les attaques externes (par exemple, DDoS, attaques par injection).

Audit et traçabilité : Le système doit être capable d'enregistrer les actions des utilisateurs et des administrateurs pour permettre un audit de sécurité en cas d'incident.

Disponibilité

Haute disponibilité (HA) : La solution doit garantir une disponibilité continue de la surveillance et de l'analyse des données, même en cas de panne de l'un des composants du système (serveur, capteur, réseau). Des mécanismes de redondance et de basculement doivent être mis en place pour assurer cette haute disponibilité.

Plan de récupération après sinistre (DRP) : En cas de défaillance majeure, le système doit pouvoir être restauré rapidement, avec une capacité de reprise des données sans perte significative.

Mise à jour sans interruption : Les mises à jour du système (correctifs de sécurité, ajouts de fonctionnalités) doivent être réalisées sans impacter la disponibilité du service, en utilisant des méthodes comme le déploiement progressif ou les mises à jour à chaud.

Accessibilité et Interopérabilité

Accès à distance : Les utilisateurs doivent pouvoir accéder à la solution à partir de différents appareils (ordinateurs, tablettes, smartphones), via un portail web ou une application mobile sécurisée.

Compatibilité avec les systèmes existants : La solution doit être capable de s'intégrer avec les infrastructures et systèmes existants des fabricants (par exemple, ERP, SCADA, systèmes de gestion de maintenance). Les protocoles standardisés (par exemple, OPC-UA, Modbus) doivent être supportés.

API ouverte et extensibilité : L'API doit permettre aux clients de développer des applications tierces, d'intégrer la solution à d'autres systèmes, ou d'exporter les données pour une analyse plus approfondie.

Bilan et perspectives de développement

Maintenance Prédicative et IA

Dans le cadre de notre solution, les concepts de ***maintenance prédictive et d'intelligence artificielle (IA)*** représentent des perspectives de développement clé pour améliorer l'efficacité et la durabilité des processus industriels.

La ***maintenance prédictive*** est une approche qui consiste à surveiller en continu l'état des équipements à l'aide de capteurs et de technologies de collecte de données, afin de prédire les défaillances avant qu'elles ne se produisent. L'objectif est de détecter les signes avant-coureurs de pannes ou de dysfonctionnements des machines, permettant ainsi de planifier les interventions de maintenance uniquement lorsque cela est nécessaire. Cela permet de réduire les temps d'arrêt imprévus, de maximiser la durée de vie des équipements et d'optimiser les coûts de maintenance.

L'***intelligence artificielle*** joue un rôle majeur dans la transformation des processus industriels en les rendant plus intelligents et autonomes.

L'IA peut être utilisée pour analyser les données en temps réel, détecter des schémas dans la consommation d'énergie et ***recommander des ajustements***. Par exemple, un algorithme d'IA pourrait optimiser les plages horaires de fonctionnement des machines ou ajuster la vitesse de production pour réduire la consommation d'énergie en fonction de la demande.

L'IA, grâce à des ***algorithmes d'apprentissage automatique***, peut ***anticiper les besoins énergétiques futurs en fonction des données historiques et des tendances de consommation***. Cela permet de mieux planifier la consommation d'énergie et d'ajuster les stratégies en temps réel pour ***éviter les pics de consommation et réduire les coûts***.

L'IA peut également être utilisée pour détecter des anomalies dans les systèmes en surveillant des milliers de points de données issus des machines. Par exemple, elle pourrait identifier un changement soudain de la consommation d'énergie qui pourrait être lié à un problème dans la machine. Cela permettrait de ***déclencher des alertes en temps réel*** et de prendre des mesures avant que le problème ne s'aggrave.

L'IA peut automatiser ***l'ajustement des paramètres des machines en fonction des besoins énergétiques***. Par exemple, une fois qu'une consommation excessive d'énergie est identifiée, l'IA pourrait automatiquement ajuster les réglages de la machine pour maximiser son efficacité énergétique sans intervention humaine.

À mesure que ces technologies se perfectionnent, elles offriront des solutions de plus en plus intelligentes et autonomes, contribuant à une gestion énergétique durable et optimale dans le cadre des processus industriels.