

Description du sujet de thèse

Description du Sujet de Thèse

1- Contexte scientifique

L'industrie moderne, et plus spécifiquement dans le cadre de l'industrie 5.0, se tourne de plus en plus vers des modèles de production durables, où l'optimisation de la productivité s'impose comme une priorité centrale malgré les nombreux défis et contraintes tels que la disponibilité de matière première et d'énergie et la limitation de l'empreinte carbone. Cette thèse s'inscrit dans le contexte de partenariat entre Orange, Ecole Polytechnique de Tunisie (laboratoire SERCOM), et l'entreprise SOTULUB à Bizerte (Tunisie). Elle s'intéresse à la conception et le développement d'un système intelligent qui vise à optimiser la production en industrie 5.0 tout en tenant compte de la contrainte énergétique.

2- Problématique et objectifs du travail

Problématique :

Dans un monde en constante évolution, où la demande pour des biens et des services ne cesse d'augmenter, la productivité industrielle est un moteur clé pour répondre aux besoins de la société. L'industrie, pilier de l'économie mondiale, a toujours eu pour objectif d'optimiser ses processus de production pour maximiser les rendements, minimiser les coûts, et améliorer la compétitivité sur les marchés internationaux.

Outre la production durable en général, une préoccupation majeure est l'utilisation de l'énergie dans la production industrielle. Dans l'Industrie 5.0, l'objectif ne se limite pas à l'efficacité opérationnelle ; il s'agit également de créer des systèmes de production socialement responsables et durables, en abordant les défis de la conservation de l'énergie de manière plus intégrée. Les contraintes énergétiques y sont gérées grâce à des solutions intelligentes telles que la planification adaptative des tâches en fonction de la demande énergétique (tarifs en fonction des heures d'utilisation), la surveillance énergétique en temps réel et l'optimisation de l'utilisation des ressources. Ces techniques permettent aux industries de concilier leurs besoins de production avec la disponibilité de l'énergie, en alignant les horaires de production sur les périodes de faible demande énergétique, réduisant ainsi les pics de charge sur le réseau. La conception de stratégies d'ordonnancement intelligentes doit prendre en compte l'efficacité énergétique et la réduction de la consommation d'énergie, qui sont des objectifs importants dans le domaine actuel de l'ordonnancement de la production. Pour réduire la consommation d'énergie ou accroître l'efficacité énergétique, il est essentiel de bien comprendre les aspects liés à la consommation ou à la demande énergétique.

Dans ce cadre, l'évolution des modèles de production repose sur l'intégration de technologies avancées et sur l'optimisation des ressources pour améliorer à la fois la performance industrielle et l'impact

environnemental. Les industries modernes sont confrontées à un défi majeur : maximiser la productivité tout en réduisant l'énergie et les émissions de carbone. Cependant, la gestion optimale de la consommation d'énergie et la réduction de l'empreinte carbone sont complexes en raison des variations dans la disponibilité de matières premières et de l'énergie, ainsi que des divers facteurs environnementaux qui influencent les chaînes de production.

Les industriels sont confrontés au défi de planifier les commandes tout en minimisant la consommation d'énergie, les coûts d'électricité et en optimisant l'efficacité de la production. Les systèmes actuels ne permettent pas d'optimiser la productivité de manière efficace, car ils ne surveillent ni ne régulent précisément la consommation énergétique en temps réel. De plus, ils ne quantifient pas l'empreinte carbone des machines, limitant ainsi les possibilités d'ajustement pour une production plus durable. La rigidité de ces systèmes face aux variations de disponibilité des matières premières entraîne des pertes d'efficacité et des gaspillages énergétiques, affectant directement la planification et l'ordonnancement optimal des opérations dans les chaînes de production industrielles. De plus, la production industrielle souffre d'un manque de flexibilité face aux fluctuations de la disponibilité des matières premières, ce qui engendre des gaspillages énergétiques et une inefficacité dans la planification des opérations et l'ordonnancement dans des chaînes de production.

Objectifs :

L'objectif de cette thèse est de concevoir un système intelligent capable d'optimiser la productivité dans un environnement industriel tout en respectant les contraintes liées à la consommation énergétique et aux émissions de CO₂. Ce système intégrera des techniques avancées d'ordonnancement en temps réel pour surveiller, analyser et ajuster de manière dynamique les processus de production. Il visera ainsi à réduire les gaspillages énergétiques et à minimiser l'impact environnemental, tout en maximisant l'efficacité opérationnelle de la chaîne de production dans une perspective de durabilité.

Bien que le focus principal de ce travail soit sur l'efficacité énergétique dans le cadre de l'optimisation de la production industrielle, il s'inscrit dans un objectif plus large. **En effet, cette thèse s'inscrit dans une approche globale visant à intégrer l'ensemble des contraintes industrielles dans un processus de décision optimisé.** La prise en compte de l'énergie comme contrainte est une composante essentielle de cette démarche, mais elle doit être couplée avec d'autres facteurs tels que la disponibilité de la matière première. Cette approche permettra à des entreprises comme de développer des solutions qui contribuent également à l'optimisation globale de leurs processus industriels, en intégrant toutes les dimensions de la performance à long terme.

Le système visera à :

- Intégrer des capteurs pour mesurer la consommation énergétique et environnementale en temps réel.
- Développer des modèles d'intelligence artificielle prédictifs pour anticiper les besoins énergétiques et ajuster la production en conséquence.
- Quantifier l'empreinte carbone des machines via une API dédiée.
- Exploiter les jumeaux numériques pour simuler la production et améliorer la gestion des ressources.

3- Approche méthodologique et premier plan de travail

Approche méthodologique :

La méthodologie suivra une approche itérative, combinant recherche expérimentale, développement technologique et validation en conditions réelles.

Voici les étapes principales :

1. Etablir **un état de l'art** des contraintes liées à l'efficacité énergétique sur une chaîne industrielle
2. Mise en place d'une stratégie pour **l'analyse et la modélisation de l'existant** (chaîne de production de graisse à SOTULUB) afin d'établir une cartographie des processus et flux d'énergie
3. **Analyse des performances opérationnelles et environnementales** :
 - a. Collecte et prétraitement des données industrielles
 - b. Corrélation entre les données pour identifier les paramètres qui peuvent affecter la production
 - c. Évaluation de l'efficacité énergétique et environnementale de l'existant
4. Intégrer des modèles IA de prédiction basés sur les données collectées afin d'anticiper la consommation d'énergie et la disponibilité des matières premières, permettant ainsi une prise de décision optimale pour **ajuster la production en fonction des contraintes**.
5. Réduction de l'empreinte carbone
 - d. Quantifier de l'empreinte carbone des différentes machines (Concevoir une API pour récupérer les données des capteurs environnementaux et calculer l'empreinte carbone en temps réel) ;
 - e. Visualiser et analyser l'empreinte carbone à travers un tableau de bord ;
 - f. Adapter la consommation d'énergie pour minimiser les émissions CO2.
6. Simulations avec les jumeaux numériques : Déploiement de jumeaux numériques pour simuler la performance des machines et évaluer l'impact des décisions de production sur la consommation d'énergie et l'empreinte carbone (impact sur le quartier).
7. Validation expérimentale : Tester le système dans des conditions réelles sur une chaîne de production et mesurer les gains en termes de productivité, de réduction d'énergie et d'empreinte carbone.

Premier plan de travail :

- Année 1 : Revue de la littérature, développement de l'architecture système, mise en place d'un prototype initial pour des tests.
- Année 2 : Développement complet de l'application mobile, intégration des modèles IA, création de l'API pour l'empreinte carbone, tests en conditions réelles.
- Année 3 : Intégration des jumeaux numériques, analyse des performances, validation finale, rédaction de la thèse et préparation de la soutenance.

4- Moyens nécessaires

Matériel :

- Capteurs (Capteurs énergétiques, capteurs environnementaux, ...).
- Microprocesseurs pour embarquer les modèles IA.
- Serveur de traitement des données en temps réel.

Logiciel :

- Environnement de développement pour le déploiement des modèles IA (Python, TensorFlow).
- Plateformes de simulation pour les jumeaux numériques (Free ou payant).
- Outils de développement d'applications mobiles et d'API.

5- Valeur ajoutée attendue (Impact socio-économique, ...)

Le projet de thèse aura un impact significatif à la fois sur le plan technologique, économique, social et environnemental :

Impact économique :

- Réduction des coûts opérationnels : En optimisant la consommation énergétique des machines, le système permettra de réduire les coûts liés à l'énergie, qui représentent une part importante des dépenses dans les industries. La possibilité d'ajuster la production en fonction des ressources disponibles limitera les gaspillages.
- Amélioration de la productivité : Grâce aux modèles d'intelligence artificielle embarqués et à l'optimisation des flux de production, les entreprises seront en mesure d'augmenter leur efficacité opérationnelle, ce qui améliorera leur compétitivité sur le marché.
- Investissement durable : Ce projet introduit des solutions alignées avec les exigences croissantes des industries pour des pratiques de production durable, renforçant ainsi la résilience des entreprises face aux fluctuations des coûts de l'énergie et aux nouvelles réglementations environnementales.

Impact social :

- Création d'emplois qualifiés : Le développement et la mise en œuvre de nouvelles technologies telles que les jumeaux numériques, les capteurs intelligents et l'intelligence artificielle nécessiteront des compétences spécialisées, ouvrant la voie à la création d'emplois dans des secteurs technologiques de pointe.
- Accès à des outils de décision : L'application mobile et les interfaces utilisateur offriront aux gestionnaires et aux employés des outils pratiques pour surveiller et améliorer les performances des installations, augmentant ainsi leur autonomie et leur capacité à prendre des décisions éclairées.

Impact environnemental :

- Réduction de l'empreinte carbone : Le projet contribuera directement à la lutte contre le changement climatique en permettant de surveiller, quantifier et réduire les émissions de carbone des machines industrielles. L'intégration d'une API dédiée au calcul de l'empreinte carbone en temps réel permettra aux entreprises de prendre des décisions plus responsables sur le plan environnemental.
- Économie d'énergie : En optimisant les cycles de production, le projet favorisera une consommation d'énergie plus raisonnée, ce qui aura un impact direct sur la réduction des ressources énergétiques utilisées, contribuant ainsi à la durabilité énergétique.

Impact sociétal :

- Conformité aux réglementations environnementales : Ce projet aidera les entreprises à se conformer aux réglementations de plus en plus strictes en matière d'émissions de carbone et d'utilisation de l'énergie, en leur offrant des outils de suivi précis et fiables.
- Conscience environnementale : La diffusion d'informations sur les performances énergétiques et les émissions de carbone via des tableaux de bord interactifs augmentera la sensibilisation à l'importance de la durabilité parmi les gestionnaires et les opérateurs industriels, favorisant ainsi une culture d'entreprise plus respectueuse de l'environnement.

Première année : Analyse et diagnostic de l'existant.

L'objectif est de comprendre et modéliser la chaîne de production. Nous débuterons par un état de l'art sur les contraintes énergétiques des chaînes industrielles, suivi d'une cartographie des processus et des flux d'énergie à l'entreprise SOTULUB. Ensuite, nous collecterons et analyserons les données des machines pour identifier les paramètres clés influençant la production, en nous appuyant sur des KPI pour évaluer les performances énergétiques et orienter les stratégies d'optimisation.

Les trois livrables

- 1) Modélisation de la chaîne de production chez SOTULUB.
- 2) Etat de l'art sur les contraintes énergétiques des chaînes industrielles.
- 3) Cartographie des processus et des flux d'énergie à l'entreprise SOTULUB, collection et analyse des données des machines pour identifier les paramètres clés influençant la production.

Lieu de travail :

Laboratoire SERCOM et Sofrecom Lac 1

