

Table des figures

1.1	Evolution de l'industrie	8
2.1	Defaut Nouilles	22
2.2	Objectif Cible	24
3.1	Schema explicatif	29
3.2	GUI	29
3.3	GoodDefectNoodles	31
3.4	ComparaisonModeles	32
3.5	MobileNetV1Result	33
3.6	MOBILENETV1TFTV	33
3.7	MobileNetV2Result	34
3.8	MobileNetV2TFTN	34
3.9	ResNet50Results	35
3.10	ResNet50TFTN	35
3.11	ResNetV2RESULT	36
3.12	ResnetV2TFTD	36
3.13	TableauAnalyse	37

Table des matières

I Cadre contextuel et conceptuel	6
1 Contrôle de la qualité dans l'industrie 4.0	7
1.1 Introduction	7
1.2 Révolutions industrielles et évolution de l'industrie	7
1.2.1 Définition de l'industrie	7
1.2.2 Les quatre révolutions industrielles	8
1.2.3 Définition de l'industrie 4.0	9
1.2.4 Technologies 4.0	10
1.2.4.1 Technologies relatives aux données	10
1.2.4.2 Technologies relatives à la communication	11
1.2.4.3 Technologies relatives au calcul et traitement de données . .	13
1.2.5 Prérequis de l'industrie 4.0	15
1.2.6 Contraintes à l'application de l'industrie 4.0	18
1.3 La qualité 4.0	19
1.3.1 Définition de la qualité	19
II Part two	20
2 Cadre Méthodologique	21
2.1 Introduction	21
2.2 Choix du thème et problématique	21
2.2.1 Problématique	22
2.2.2 Hypothèses	22
2.2.3 Objectif	23
2.3 Méthodologie du travail	23
2.3.1 Approche	23
2.3.2 Démarche	24
2.3.3 Outils	26
2.3.4 Propriété intellectuelle	26
2.4 Conclusion	27
3 Etude Comparative et Choix du Modèle	28
3.1 Introduction	28
3.2 Architecture de la solution	28

3.3 Configuration Hardware et Software	30
3.3.1 Choix de la caméra :	30
3.3.2 Choix d'éclairage :	30
3.3.3 Choix du TPU :	30
3.4 Préparation des données	30
3.5 Implémentation des modèles	31
3.6 Evaluation des modèles	32
3.6.1 MobileNet V1	33
3.6.2 MobileNet V2	34
3.6.3 ResNet50 V1	35
3.6.4 ResNet50 V2	36
3.7 Analyses et discussion des résultats	37
3.8 Conclusion	38

Introductions générale

La révolution numérique et technologique actuelle procure des changements importants dans des différents secteurs particulièrement le secteur industriel qui connaît une croissance et un développement exponentiel à tous les niveaux ce processus de changement technologique a débuté avec la révolution industrielle qui a connu un basculement très fort d'une société artisanal vers une industrie commerciale et industrielle voir l'émergence d'industrie virtuelle en adoptant de nouvelle techniques. Les tendances actuelles exigent aux entreprises manufacturières qu'elles soient flexibles, compétentes et réactives et qu'elles s'adaptent rapidement face aux perturbations externes telles que les fluctuations du marché et aux perturbations internes telles que l'indisponibilité de ressources.

Ce concept de progression permet de passer d'une politique tout à fait alentour de produit à une économie client (la production ne concentre plus sur le produit, mais plutôt sur les exigences du client. C'est pour cela les entreprises tente à faire des changements au niveau de leur chaîne logistique et de leur système productif par l'utilisation de nouvelles stratégies, actualisation de nouveau procédé de fabrication en appuyant sur l'écoute du client afin de rester compétitive dans un marché très concurrentiel.). La bonne gestion de la chaîne logistique permet aux entreprises industrielles et commerciales, de se positionner dans un marché très concurrentiel et répondre de manière efficiente aux différentes fluctuations. Ces exigences permettront aux entreprises de confronter plusieurs défis, tels que, la réduction des délais de fabrication et de livraison, diminution des prix, et cela sans pour autant affecter la qualité des produits et la qualité de service. Dans le but de répondre aux exigences actuelles, il est impératif de veiller sur l'amélioration continue des performances de l'entreprise qui s'élabore par une bonne gestion de toutes les opérations au sein des entreprises. En effet à l'heure actuelle digitale, sont au cours tous les phénomènes, la vision de l'amélioration continue est déjà bien engagée, et les industriels deviennent plus concurrentiels, plus productifs et misent sur les opportunités et les performances adaptées au sein de leur entreprise pour une meilleure réactivité et un meilleur rendement.

Cette dynamique sensible du marché, rehausse constamment les normes des industriels qui souhaitent accroître leur part de marché et satisfaire leurs clients. A cet égard, les erreurs et défauts de production de toutes causes confondues sont peu tolérés voir même intolérés chez certains producteurs en donnant une grande importance au contrôle de la qualité tout au long du processus.

Pour répondre à ce contexte, les différents acteurs se tournent vers le développement des solutions innovantes facilitant les activités de production et le repérage des différents dysfonctionnements et des défauts de qualité. Le concept de l'industrie 4.0 se trouve au cœur de ces changements par la mobilisation des nouvelles technologies telles que les IOT

(Internet Of Things), l'intelligence artificielle (IA) et le deep learning etc.

L'intelligence artificielle a introduit plusieurs technologies dans l'industrie, évidemment dans le concept de qualité et de détection des défauts. L'IA à travers ses composants, notamment l'apprentissage profond, a donné naissance à des applications de vision artificielle spécialisées dans la détection de ces défauts de production.

La tendance dans ces applications est d'atteindre une précision de niveau humain ou mieux dans l'inspection de la qualité. Cela implique un minimum d'erreurs dans la production. Et donc une bonne réputation de l'entreprise sur le marché. L'objectif de ce travail est de proposer une application de détection de non-conformité par apprentissage profond appliquée à un système de production alimentaire de nouilles référencé à la société JUMBO.

Le travail présenté dans ce mémoire se décompose en deux partie, la première abordera une recherche bibliographique sur la qualité et l'inspection de la qualité dans le contexte de l'industrie 4.0, suivant trois chapitres comme suit :

- Un premier chapitre est dédié a présenté les notions de contrôle de la qualité dans l'industrie 4.0 afin de positionner notre abordée dans le contexte de l'industrie 4.0.
- Un deuxième chapitre porte sur l'intelligence artificielle et ses composantes pour expliquer la science derrière les applications de l'industrie 4.0.
- Un troisième chapitre sur les systèmes de vision artificielle et le traitement d'images qui décrira tous les outils nécessaires pour construire une application de détection des défauts par vision artificielle.

La deuxième partie de ce travail concerne nos apports et contributions dans ce projet est décomposée également en deux chapitres comme suit : le quatrième chapitre sur le cadre méthodologique, et le cinquième chapitre sur l'étude comparative et le choix du modèle.

Ce projet final est le résultat d'une tentative d'utiliser autant que possible les connaissances et les capacités que nous avons acquises au cours de notre programme éducatif. L'entreprise RMBtech Smart Automation, qui nous a accompagnés dans ce projet, nous a offert le cadre et l'environnement pratiques dans lesquels nous avons travaillé.

Première partie

Cadre contextuel et conceptuel

Chapitre 1

Contrôle de la qualité dans l'industrie 4.0

1.1 Introduction

Les anomalies au niveau du processus de production ont toujours été un défi pour l'industrie. Toute personne qui effectue une inspection visuelle répétitive peut se fatiguer, s'ennuyer ou être distraite. Comme les processus de production deviennent plus complexes, le risque d'erreurs humaines augmente ce qui peut entraîner des dégradations des produits finis engendrant des reprises coûteuses et fastidieuses pour le producteur.

Ce qui a poussé les chercheurs à introduire L'industrie 4.0 qui désigne la transformation et la digitalisation continues des pratiques de production industrielles cela pour améliorer la productivité et la qualité de la production en éliminant les erreurs humaines via l'automatisation et l'utilisation des solutions logicielles d'analyse vidéo en obtenons des informations exploitables à partir des données de la chaîne logistique globale. Ces données peuvent non seulement être vérifiées et comparées en temps réel, mais aussi analysées dans le temps pour faciliter la prise de décision, la planification de la production et l'amélioration des processus.

Ce que nous pouvons résumer dans ce chapitre, nous allons commencer par le concept de l'industrie et de la révolution industrielle. Nous passerons en revue les différentes techniques de l'industrie 4.0 et nous terminerons par le concept de qualité 4.0 qui relie l'industrie 4.0 au contrôle de la qualité.

1.2 Révolutions industrielles et évolution de l'industrie

1.2.1 Définition de l'industrie

L'industrie est un terme polysémique recouvrant originellement la plupart des travaux humains. Il s'agit à présent de la production de biens grâce à la transformation des matières premières ou des matières ayant déjà subi une ou plusieurs transformations et de l'exploitation des sources d'énergie [3].

1.2.2 Les quatre révolutions industrielles

L'un des événements historiques les plus significatifs de la civilisation contemporaine a été la révolution industrielle. En fait, cette période cruciale de l'histoire a entraîné d'importants changements dans la civilisation, notamment sur le plan technologique, social et économique. Le concept d'emploi, les formes de production, les moyens de transport et la structure de la société et de l'économie ont tous subi des changements importants depuis la révolution industrielle [1]. La figure ci-dessus montre un schéma expliquant les étapes de la révolution de l'industrie.

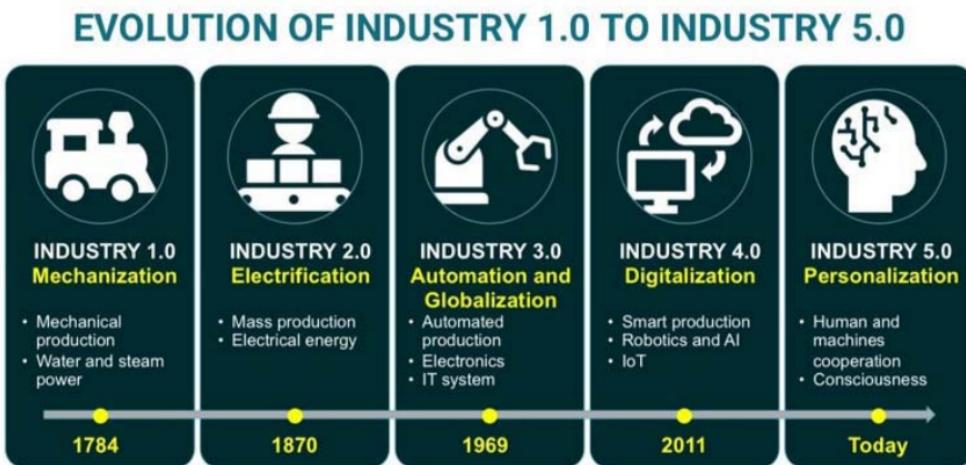


FIGURE 1.1 – Evolution de l'industrie

Cette révolution a passé par quatre phases depuis milieu du XVIIIe siècle (1750) [6].

- **Première révolution industrielle** (industrie 1.0) : C'est la révolution qui s'est produite au XVIIIe siècle, et qui a pour pilier la machine à vapeur. L'objectif était la productivité de la production.
- **Deuxième révolution industrielle** (industrie 2.0) : Cela s'est produit au 19ème siècle jusqu'en 1940 et était basé sur l'électricité. Comme cela s'est produit en même temps que la Première Guerre mondiale, on s'est inquiété du manque de matériel utilisé pour la production. Pour cette raison, la maintenance commence à être une préoccupation, et nous pouvons même dire que c'est ici que la maintenance préventive est née.
- **Troisième révolution industrielle** (industrie 3.0) : C'est la révolution des systèmes informatiques, qui s'est produit dans les années 70. Cette révolution n'a pas eu le souci de la productivité comme les deux autres, et c'est à ce moment-là que le système industriel « Just in Time » a été créé, ce qui a pour résultat la réduction du temps et l'optimisation dans le secteur industriel.
- **Quatrième révolution industrielle** (industrie 4.0) : fait référence à la transformation de l'industrie et des systèmes de production grâce à l'introduction des nouvelles

technologies. Son but est de créer des usines intelligentes, qui puissent s'adapter plus facilement aux nécessités et aux processus de la production. Alors que l'industrie 4.0 reste un concept relativement nouveau, de nombreux experts et scientifiques parlent de l'industrie 4.1, qui vise le zéro défaut [7].

- **Cinquième révolution industrielle** (l'industrie 5.0) : cette approche conduira à un nouveau modèle de coopération et d'interaction entre les humains et les machines du contexte de l'ergonomie. Mais ce concept n'est pas vraiment fait l'objet d'un consensus, il reste une simple notion théorique jusqu'à présent. [5]

En 2012, l'Allemagne a proposé le terme de l'industrie 4.0 pour faire les premiers pas vers la prochaine révolution industrielle. La définition et les technologies de base de l'industrie 4.0 sont présentées ci-dessous.

1.2.3 Définition de l'industrie 4.0

Il est difficile de trouver une définition du concept « Industrie 4.0 » qui fait consensus. La transdisciplinarité du concept, traduite par le vif intérêt accordé au concept, conduit à l'émergence d'une diversité terminologique telle que

- industrie future
- industrie numérique
- industrie intelligente
- internet industriel
- transformation numérique

C'est ainsi qu'en 2013, BITCOM, l'association des télécommunications allemandes a trouvé plus de 100 définitions du concept de l'industrie 4.0. Cependant, afin de mieux cerner le sujet et limiter l'impact de la diversité des définitions, il est essentiel de ne citer que les définitions les plus importantes.

Par exemple, pour Schumacher [10] « Industrie 4.0 fait référence aux avancées technologiques récentes dans lesquelles Internet et les technologies associées (par exemple, les systèmes intégrés) servent de pivot pour intégrer des objets physiques, des acteurs humains, des machines intelligentes, des lignes de production et des processus dépassant les limites organisationnelles afin de former une nouvelle chaîne de valeur plus agile, intelligente et connectée».

Pour notre cas de recherche, nous prendrons la définition donnée par Pierre Cléroux, vice-président, Recherche et économiste en chef à la BDC, qui a défini ce terme comme suit : "à la base, l'industrie 4.0 consiste à surveiller et à contrôler vos machines et équipements en temps réel en installant des capteurs à chaque étape du processus de production".

1.2.4 Technologies 4.0

Cette section vise à identifier les principaux groupes de technologies introduits par l'industrie 4.0. Nous avons utilisé une liste des différentes catégories qui désigne les principales technologies qui influencent ce développement industriel. Ces catégories sont :

- Technologies relatives aux données.
- Technologies relatives à la communication.
- Technologies relatives au calcul et au traitement de données.

Ces catégories sont détaillées ci-dessous :

1.2.4.1 Technologies relatives aux données

La big data : Les données se considèrent comme étant de la matière première du 21ème siècle. En fait, la quantité de données dont disposent les entreprises semble presque doubler chaque année puisque, en 2020, plus de 50 milliards d'appareils seront connectés à l'échelle mondiale. La mégadonnées ou Big Data est non seulement une technologie, mais également un puissant outil pouvant fournir des informations, guider, inspirer et définir en profondeur la stratégie organisationnelle des campagnes.

Le traitement des données est conçu pour analyser, nettoyer, transformer et modéliser de variable source et format de données, permettant alors de créer des connaissances, du sens et des solutions pouvant servir pour prendre des décisions. Elle permet aussi de conférer aux données une dimension économique en faisant recours aux méthodes analytiques comme la corrélation, le regroupement, la régression ou l'analyse bayésienne qui est désormais importante.

Ainsi, les techniques associées aux mégadonnées aident alors à maximiser la qualité de la production, à augmenter l'efficacité, à optimiser la qualité des équipements et encore, à atteindre une productivité sans précédent.

La cyber sécurité : La cybersécurité assure une gestion de la data dans des conditions optimales et sécurisées. Elle permet la protection des systèmes d'informations et des données qui circulent contre ceux que l'on appelle les cybercriminels. Les compétences en informatique acquises par les personnes malveillantes sont des risques à ne pas prendre à la légère. De l'installation d'un antivirus jusqu'à la configuration de serveurs, ou encore le gardiennage des datas centers et des bureaux, la sécurité informatique impacte tous les métiers [2].

Outre les cyberattaques, la cybersécurité permet la mise en place de processus auprès des collaborateurs pour l'instauration de bonnes pratiques. En effet, les erreurs humaines sont des sources réelles de fuites de données. La sensibilisation des équipes aux problématiques de phishing ou d'usurpation d'identité est une composante importante d'une politique de sécurité informatique.

Les entreprises ont besoin de processus de cybersécurité fiable et performant afin de travailler dans de bonnes conditions. La protection des données sensibles est essentielle pour garantir l'intégrité de chaque collaborateur, mais aussi des clients et des partenaires.

Les capteurs intelligents Un capteur intelligent est un dispositif qui prend des données de l'environnement physique et utilise des ressources de calcul intégrées pour exécuter des fonctions prédéfinies lors de la détection d'une entrée spécifique, puis traiter les données avant de les transmettre.

Les capteurs intelligents permettent une collecte plus précise et automatisée des données environnementales avec moins de bruit parmi les informations enregistrées. Ces dispositifs sont utilisés pour les mécanismes de surveillance et de contrôle dans une grande variété d'environnements, notamment les smart grids, la reconnaissance des champs de bataille, l'exploration et un grand nombre d'applications scientifiques.

Le capteur intelligent est également un élément crucial et intégral de l'Internet des objets (IoT), l'environnement de plus en plus répandu dans lequel presque tout ce qui est imaginable peut être doté d'un identifiant unique (UID) et de la capacité de transmettre des données par internet ou un réseau similaire. Les capteurs intelligents sont notamment utilisés comme composants d'un réseau de capteurs et d'actionneurs sans fil (WSAN) dont les nœuds peuvent se compter par milliers, chacun d'entre eux étant connecté à un ou plusieurs autres capteurs et hubs ainsi qu'à des actionneurs individuels.

Les ressources de calcul sont généralement fournies par des microprocesseurs mobiles de faible puissance. Un capteur intelligent se compose au minimum d'un capteur, d'un microprocesseur et d'une technologie de communication quelconque. Les ressources de calcul doivent faire partie intégrante de la conception physique un capteur qui se contente d'envoyer ses données pour un traitement à distance n'est pas considéré comme un capteur intelligent [4].

1.2.4.2 Technologies relatives à la communication

Internet des objets (IoT) : Internet est à l'origine un produit d'évolution progressive caractérisé tout d'abord par le Web 2.0 favorisant une communication à double sens et faisant référence à la possible interaction, collaboration et participation pouvant exister dans l'utilisation traditionnelle des réseaux sociaux, des blogs et autres. Ensuite, ledit Web 3.0 « sémantique » qui pour analyser, transformer et partager des informations standardisées, offre aux machines non seulement des informations compréhensibles et en ligne, mais leur permet aussi de naviguer sur les moteurs de recherche sans intervention humaine. Dès lors, ces technologies ont atteint un niveau avancé de développement qui a mené, aujourd'hui, à Internet des Objets. Celui-ci forme un réseau informatique interconnectant les objets, capteurs et des dispositifs autres que les ordinateurs.

Tout en permettant audits dispositifs d'émettre, échanger et utiliser des données indépendamment de l'intervention humaine. L'internet des objets est ainsi une technologie permettant l'incorporation d'une capacité de communication auto-organisée et autonome aux différentes machines. L'interconnexion des objets physiques et des ressources numériques forme un réseau d'information qui facilite le contrôle de l'état des produits ou des systèmes et décentralise la prise de décision.

Communication inter-machine (M2M) Le développement de la technologie de communication inter machines est dû à l'augmentation du nombre de systèmes et de machines autonomes. La technologie M2M est directement basée sur des protocoles et technologies de communication standard pour créer des réseaux de machines et de systèmes. Cette technologie peut faciliter l'échange direct entre les machines d'une grande flotte. En conséquence, le processus de production dans son ensemble, peut être reconfiguré pour réagir aux dangers rencontrés.

De plus dans les environnements de l'industrie 4.0, la technologie M2M est prête à remodeler divers aspects de fabrication, en particulier l'efficacité opérationnelle, le contrôle qualité, la prise de décision, les relations avec les clients, et les opportunités transactionnelles .Ainsi, l'accès à des actions en temps réel est nécessaire pour établir des organisations plus intelligentes et plus agiles, ce qui permet à la direction de mieux administrer les ressources, protéger les actifs spécifiques de l'entreprise, déployer des applications intelligentes pour élargir la portée et répondre rapidement aux exigences environnementales à évolution rapide. De plus, avec une bonne intelligence, livrée en temps réel et utilisée de manière appropriée, les services peuvent être proposés et adaptés aux clients de la meilleure façon possible.

Systèmes cyber physique À travers le temps, les mécanismes de traitement de l'information ont connu une évolution allant de grands ordinateurs centraux, passant par les ordinateurs personnels pour enfin arriver à des objets de calcul incorporés. La performance de ces mécanismes, manifestée dans l'accès à internet, la capacité de communiquer, stocker et calculer les données, permet de contrôler, surveiller l'ensemble des objets, systèmes et processus.

Ainsi, la communication et l'interconnexion des systèmes d'informations, réseaux, processus, sous-systèmes, objets internes et externes, clients et fournisseurs, définies ce qu'on appelle un Système Cyber Physique (CSP). Et en effet, le CSP fusionne non seulement les mondes physiques et virtuels, mais aussi dispose les objets d'une capacité de communiquer avec l'environnement, de reconfigurer ou participer à la reconfiguration en temps réel pour répondre aux besoins immédiats. Ce qui fait que les machines, dans l'industrie 4.0, forment une entité cyber-physique qui communique dans d'environnements réels et virtuels. Celle-ci rend le positionnement de la machine au sein de la chaîne de valeur plus flexible de sorte que le processus de production est adapté à la demande instantanée et ne subit plus de temps d'arrêt.

Les robots collaboratifs : Durant la dernière révolution industrielle, les robots ont occupé une place importante au point de remplacer les travailleurs. Ainsi en 2004 la présence des robots multifonctionnels et polyvalents dans les usines européennes s'est considérablement développée et doublée. Récemment, la robotique a été développée pour devenir un outil indispensable dans tous les secteurs. Les robots industriels ont une grande flexibilité inhérente en raison de la polyvalence des outils, capteurs et autres périphériques.

Cependant, l'effort nécessaire pour programmer et configurer l'ensemble du système de robot, par exemple lors de l'introduction d'un produit nouveau ou modifié, est élevé et limite la flexibilité utilisée [9]. C'est ainsi que les robots sont utilisés dans les industries pour favo-

riser la répétition des tâches prédéfinies nécessitant peu d'adaptation et de reconfiguration.

1.2.4.3 Technologies relatives au calcul et traitement de données

L'intelligence artificielle : Le terme "intelligence artificielle" inventé par John McCarthy est souvent abrégé en "IA" (ou "AI" en anglais, signifiant intelligence artificielle). L'un de ses créateurs, Marvin Lee Minsky, l'a défini comme la construction de programmes informatiques qui exécutent des tâches qui sont actuellement exécutées de manière plus satisfaisante par les humains car elles nécessitent un niveau élevé de processus mentaux tels que : l'apprentissage perceptif, l'organisation de la mémoire et le raisonnement critique.

Nous n'allons pas détailler ce concept car nous allons consacrer un chapitre entier qui parle de l'intelligence artificielle et de ces techniques de calculs et de traitement de données.

Cloud computing : Le cloud computing ou informatique en nuage est une infrastructure dans laquelle la puissance de calcul et le stockage sont gérés par des serveurs distants auxquels les usagers se connectent via une liaison Internet sécurisée. L'ordinateur de bureau ou portable, le téléphone mobile, la tablette tactile et autres objets connectés deviennent des points d'accès pour exécuter des applications ou consulter des données qui sont hébergées sur les serveurs.

De cette façon, l'entreprise peut recruter des services comme le stockage virtuel des données, pour les logiciels de gestion comme un ERP ou de sécurité du cloud, entre autres.

- IaaS (infrastructure as a service) : C'est le premier service lancé par AWS qui donne à ses clients la possibilité d'utiliser des bases de données. Ainsi, au lieu d'acheter du matériel et de créer une salle de serveurs ou un centre de données, une PME pourrait louer des ordinateurs, du stockage et un réseau auprès d'un fournisseur de services en ligne.
- PaaS (Plateforme as a service) : C'est ainsi que Microsoft et d'autres ont réalisé que les développeurs avaient besoin non seulement d'une infrastructure, mais aussi d'un accès à des langages de développement de logiciels, à des bibliothèques et à des micro-services afin de créer des applications. Google fournit également le PaaS pour soutenir ses nombreuses applications domestiques.
- SaaS (Software as a service) : Le précurseur du cloud sous la forme d'applications web, comme Salesforce.com, lancé en 1999. Le SaaS est une nouvelle façon d'accéder à un logiciel. Au lieu d'accéder à un serveur privé local hébergeant une copie de l'application, les utilisateurs utilisaient un navigateur web pour accéder à une application partagée basée sur un serveur web. Comme le cas des ERP qu'ils sont devenus l'application généralisée de SaaS dans l'industrie.

Puces d'accélération des réseaux de neurones (NPU) : Un Accélérateur d'IA pour accélérateur d'intelligence artificielle (ou NPU, anglais : Neural Processing Unit) est une catégorie de microprocesseur ou de systèmes de calculs conçu pour accélérer un réseau de neurones artificiels, accélérer des algorithmes de vision industrielle et d'apprentissage automatique pour la robotique, l'internet des objets et autres tâches de calculs-intensifs ou de contrôle de capteurs. Il s'agit souvent de conceptions multicœurs et se concentrant généralement sur l'arithmétique de faible-précision, des nouvelles architectures de flux de données ou de la capacité de calcul en mémoire.

La réalité augmentée (AR) : Est une version améliorée du monde physique réel qui est obtenue grâce à l'utilisation d'éléments visuels numériques, de sons ou d'autres stimuli sensoriels délivrés via la technologie. C'est une tendance croissante parmi les entreprises impliquées dans l'informatique mobile et les applications d'entreprise en particulier.

Au milieu de l'essor de la collecte et de l'analyse de données, l'un des principaux objectifs de la réalité augmentée est de mettre en évidence des caractéristiques spécifiques du monde physique, d'améliorer la compréhension de ces caractéristiques et d'en tirer des informations intelligentes et accessibles pouvant être appliquées à des applications du monde réel.

Ces mégadonnées peuvent contribuer à éclairer la prise de décision des entreprises et à mieux comprendre les habitudes de consommation des consommateurs en amont, comme elles peuvent jouer un rôle important en aval dans le cas des activités de marketing. En interne, la réalité augmentée fournit de nombreuses applications qui aident à l'industrialisation des produits tels que les simulateurs de systèmes de production.

Blockchain : La blockchain constitue une base de données distribuée sur un réseau de blocs, non plus contenus dans un seul épicentre. Ce réseau est souvent assimilé à un registre dans lequel sont enregistrées toutes les données ou transactions échangées/passées au sein de l'entreprise et de son environnement externe.

La blockchain est aujourd'hui surtout utilisée pour les transactions en monnaie virtuelle et n'est que rarement employée dans le secteur industriel. Il est logique de la voir appliquée dans le monde entièrement numérique d'aujourd'hui, où les transactions monétaires nécessitent une technologie fiable. Les experts de la transformation numérique, quant à eux, ont découvert des utilisations de la blockchain qui pourraient profiter au secteur informatique.

L'utilisation de "smart contracts" est envisageable. Il s'agit d'un type de contrat numérique qui se manifeste par des codes inscrits dans une blockchain, permettant le transfert automatisé d'actifs d'une entité à une autre (selon des règles de gestion prédéfinies). Ces smart contracts, en complément d'un ERP classique, permettent d'automatiser le processus de production (par exemple, commande sécurisée de matières premières automatiquement lorsque les stocks sont bas).

1.2.5 Prérequis de l'industrie 4.0

Dans la littérature, plusieurs auteurs abordent les outils technologiques qui permettront la transformation vers l'industrie 4.0, tels que le Big Data ou l'Internet des objets. Cependant, peu d'auteurs se concentrent sur les prérequis à mettre en place pour réussir cette transformation numérique. Dans ce contexte, la littérature révèle deux écoles de pensée ; il y a l'approche technologique et l'approche des pratiques commerciales [8].

Selon l'approche technologique, Pacchini expose les outils technologiques qui représentent l'industrie 4.0. Suite à ses recherches, l'auteur établit qu'il existe huit technologies le plus souvent associées à l'industrie 4.0 : L'Internet des objets, le Big Data, le Cloud computing, les Systèmes Cyber Physique, les robots collaboratifs, la fabrication additive, la réalité augmentée et l'intelligence artificielle. Afin de créer un modèle permettant d'évaluer le niveau de préparation des entreprises, l'auteur détermine que chaque technologie doit répondre à six pré requis préalables ; ces conditions doivent être remplies pour garantir la réussite de la mise en œuvre de la technologie.

Pour chaque prérequis, une échelle à quatre niveaux est présentée pour établir le niveau de réalisation du prérequis. Par exemple, pour le niveau 0 : le pré requis n'est pas présent dans l'entreprise. Les scores associés aux pré requis permettent d'établir un résultat final sur le niveau de préparation numérique de l'entreprise, qu'il soit initial, primaire, intermédiaire, avancé ou prêt. Sur la base de ce résultat, l'entreprise peut s'orienter dans les prochaines étapes à franchir pour ensuite améliorer sa préparation numérique. Le tableau ci-dessous présente la liste de ces prérequis :

tableau

tableau

D'autre part, plusieurs articles se concentrent davantage sur les actions à entreprendre et les pratiques commerciales à mettre en place avant même de penser à l'introduction réelle des technologies numériques. Selon Ranch, les conditions préalables à l'industrie 4.0 peuvent être représentées par 27 grands groupes : agilité, automatisation, connectivité, culture, conception pour la fabrication, numérisation, facilité d'utilisation, mise en œuvre, inspection, Lean, apprentissage automatique, personnalisation de masse, réseaux, personnes, planification et contrôle de la production, maintenance préventive et prédictive, contrôle à distance, gestion des ressources, sécurité, durabilité, suivi et traçage, transport, mise à niveau et réalité virtuelle.

Chacun de ces groupes représente une liste d'actions nécessaires pour atteindre la préparation numérique. Le total des exigences présentées dans ce document est de 65 actions. Par exemple, le groupe sur la production allégée comporte trois actions : l'entreprise doit réduire les activités sans valeur ajoutée dans la production et la logistique, produire à la demande et livrés juste à temps, et individualiser les produits le plus tard possible dans la chaîne de valeur. Ces données ont été compilées à partir de consultations de PME lors d'ateliers en Europe, en Asie et aux États-Unis. À l'issue des ateliers, cinq conditions préalables ont été identifiées par les PME comme étant les plus importantes pour la transformation numérique. Le niveau d'importance des conditions a été associé à l'intérêt des PME participant aux ateliers. Les cinq conditions préalables sont les suivantes : fabrication agile et personnalisation de masse, intégration de données en temps réel, numérisation et connectivité, mise en œuvre de technologies de fabrication avancées et d'automatisation, intégration de technologies faciles à utiliser avec un faible investissement et formation des employés à l'analyse des données intelligentes et à l'apprentissage automatique.

Toutes ces conditions préalables permettent aux PME de couvrir un ensemble de facteurs leur permettant d'être mieux préparées à la transformation vers l'industrie 4.0. Malgré le fait que les PME soient connues pour être flexibles et réactives aux besoins de leurs clients, il est essentiel pour les PME de compenser leur manque d'agilité et de connaissances en matière de fabrication, en améliorant leur expertise technologique, pour ensuite assurer le succès de la transformation.

1.2.6 Contraintes à l'application de l'industrie 4.0

Si nous prenons en compte les contraintes des perceptions théoriques de base de l'industrie 4.0. Comme présenté précédemment, les principaux concepts autour de ce sujet sont les systèmes cyber-physiques (CPS), l'Internet des objets (IoT), et l'intelligence artificielle (AI). Par conséquent, nous formalisons les contraintes en combinant trois sources principales : Les principales contraintes des CPS, les principales exigences de l'IoT et les principes de l'intelligence artificielle.

En premier lieu, nous évaluons les systèmes cyber-physiques. Imposent que ces systèmes doivent rester entièrement opérationnels pendant le temps d'exécution de la tâche. Cette contrainte crée un besoin de protocoles de sécurité logicielle pour respecter les exigences de temps réel soft et hard. En outre, cela exige la robustesse et la fiabilité du matériel, qui est une contrainte de base des systèmes intégrés. Ces contraintes représentent un aspect de fiabilité dans les données produites, qui dépendent du matériel et du logiciel.

Nous analysons également les principales contraintes de l'Internet des objets. L'objectif

de l'Internet des objets est l'omniprésence de dispositifs décentralisés basés sur un réseau. Comme l'information est la valeur la plus importante, la capacité de communication du réseau est la principale contrainte du développement des applications de l'IoT. Nous affirmons que les réseaux de capteurs sans fil constituent la principale base théorique des applications de l'IoT. Ces applications nous apprennent que ces contraintes de réseau affectent la fiabilité des données.

Cependant, si l'on parle d'intelligence artificielle et de traitement des données, la qualité de ces données et l'industrialisation de leur traitement doivent également être mieux maîtrisées. Enfin, il n'est pas facile de mettre en place des processus d'intelligence artificielle sur un site industriel si l'on ne s'assure pas la qualité des données et de la précision des algorithmes de traitement.

Par conséquent, nous présentons trois contraintes les plus importantes dans la conception des applications de l'industrie 4.0 :

- **La fiabilité du logiciel et du matériel :** En tant que CPS, l'application doit présenter des éléments matériels et logiciels fiables pour fournir l'environnement nécessaire au développement de la proposition.
- **Mise en réseau et communication :** En tant qu'application IoT, les dispositifs doivent fournir des services avec des contraintes de qualité minimales pour permettre des applications pleinement opérationnelles dans le contexte de l'industrie 4.0 avec une fiabilité des données.
- **La précision des algorithmes :** Il faut assurer la précision d'algorithmes utilisés pour le calcul et le traitement de ces données.

1.3 La qualité 4.0

La qualité est largement mise en œuvre par les entreprises et constitue un concept important dans les processus industriels, car elle représente un avantage concurrentiel. Aujourd'hui, il est presque obligatoire de suivre des normes de qualité pour mettre un produit sur le marché. Cependant, face aux nouveaux paradigmes de production, comme l'industrie 4.0, des questions se posent sur la manière dont les processus de gestion de la qualité pourraient bénéficier et s'adapter à l'ère des technologies numériques. Pour ce faire, dans cette section, nous commencerons par définir le concept de qualité et de systèmes de contrôle de la qualité de manière générale, puis nous ferons le lien entre les pratiques de qualité et les technologies de l'industrie 4.0 en introduisant la notion de qualité 4.0 qui donnera naissance au concept de systèmes intelligents de contrôle de la qualité.

1.3.1 Définition de la qualité

La qualité est un terme beaucoup plus compliqué qu'il n'y paraît. Les définitions des dictionnaires sont généralement insuffisantes pour aider un professionnel de la qualité à comprendre le concept. Il semble que chaque expert en qualité définisse la qualité d'une manière quelque peu différente. Parmi eux, ils ont défini la qualité par des normes internationales comme l'ISO 9001.

Deuxième partie

Part two

Chapitre 2

Cadre Méthodologique

2.1 Introduction

La recherche scientifique est un processus nécessaire pour avoir un niveau de rigueur spécifique et assurer l'acquisition de nouvelles connaissances. Cette démarche permet d'examiner et de résoudre des circonstances et des problèmes afin d'apporter des solutions à la suite d'une enquête.

Tout travail scientifique suit une technique de recherche qui diffère légèrement en fonction du contexte dans lequel il a été élaboré et du domaine d'application prévu.

Dans ce chapitre nous allons définir le cadre méthodologique de notre travail : Nous allons tout d'abord exposer la problématique que nous avons choisie et présenter des hypothèses en conséquence.

Puis, nous allons expliquer l'approche de notre travail et le processus que nous avons suivi. Pour clarifier le cheminement des étapes suivies dans ce projet.

Enfin, nous allons présenter les outils nécessaires que nous avons utilisés pour mener à bien ce projet et indiquer les spécificités des données utilisées dans ce travail.

2.2 Choix du thème et problématique

Notre projet de fin d'étude est une proposition de l'entreprise RMBtech Smart Automation, et qui a été développée tout au long de notre stage.

La proposition est rentrée dans le cadre du thème **Contrôle de la qualité**, cette proposition répond aux besoins du cahier de charge d'un client de RMBtech. Qu'il cherche de diminuer le taux des produits non-conformes dans une ligne de production. L'entreprise RMBtech a proposé de *développer une application pour détection de non-conformités dans une lignes de production des nouilles par le deep learning* , ce qui est le sujet de notre projet de fin d'étude.

2.2.1 Problématique

A partir du deuxième chapitre de la première partie, nous disons que les applications développées par le deep learning consiste à implémenter des modèles de réseaux de neurones profonds.

Pour notre projet et comme il consiste à détecter les défauts des nouilles pour distinguer entre les conformes et les non conformes, nous avons constaté que les défauts produits dans les pièces des nouilles se retrouvent au niveau de la forme de la nouille. La figure 2.1 montre des cas de non conformités



FIGURE 2.1 – Defaut Nouilles

Nous avons dit précédemment que les réseaux de neurones conventionnels (CNN) sont les plus utilisés pour la détection et la classification des formes et des images. Pour cela, notre projet de fin d'étude présenté aborde la problématique de “*Quelle est le modèle CNN le plus approprié pour une application de détection de non-conformité ?*”

2.2.2 Hypothèses

Suite aux recherches et à l'audition d'experts dans le domaine, les hypothèses suivantes ont été développées :

- Il est préférable d'implémenter un modèle qui avait une architecture dense qui contient plusieurs couches convolutif pour avoir une bonne précision.
- Il est préférable d'implémenter un modèle avec un temps d'inférence court pour détecter tous les objets passant sur le convoyeur à grande vitesse.
- Il est préférable d'implémenter un modèle de petite taille pour minimiser le temps d'inférence.

2.2.3 Objectif

Le but de ce travail est de trouver le modèle le plus approprié à utiliser dans une application de détection de non-conformité sur une ligne de production de nouilles.

Un autre objectif pour nous est de comprendre et d'appliquer les connaissances que nous avons durant notre formation à un scénario du monde réel où nous allons tester notre solution sur un cas réel, tout en utilisant une méthode scientifique.

2.3 Méthodologie du travail

Du fait de la similarité entre les hypothèses citées ci-dessus, nous avons trouvé intéressant de regrouper les points communs entre ces dernières, qu'ils sont la précision, la taille du modèle et le temps d'inférence.

En fait, notre travail consiste à identifier un modèle CNN avec un minimum de temps d'inférence, capable de détecter rapidement les nouilles lors de leur passage sur le convoyeur avec une grande vitesse.

En vue de l'absence de travaux qui traitent un problème de détection similaire au nôtre, nous avons dû définir une démarche spécifique à ce projet. La démarche que nous avons suivie est le fruit de notre réflexion et de notre travail.

2.3.1 Approche

Pour ce projet, nous avons utilisé une approche comparative qui consiste à évaluer différents modèles de CNN selon des critères précis. Ces critères sont les suivants :

- Le temps d'inférence.
- La précision du modèle.
- La taille du modèle.

Nous allons détailler chaque critère ci-dessous :

Le temps d'inférence : Le temps d'inférence d'un modèle DNN est le temps exécuter par processus de traitement de données pour calculer une sortie telle qu'un score numérique unique. Ce processus est également appelé "mise en production d'un modèle d'apprentissage automatique".

La précision du modèle : La précision est également appelée valeur prédictive positive. Elle mesure la capacité du modèle à ne pas faire d'erreur lors d'une prédiction positive. La précision est calculée à partir de la matrice de confusion avec la formule suivante :

$$P(\%) = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN} \times 100 \quad (2.1)$$

Où P désigne la précision et TP, TN, FP, FN sont expliqués dans le chapitre trois de la première partie.

La taille du modèle : La taille d'un modèle DNN correspond à la quantité en mégabits (Mb) dont le modèle a besoin pour être stocké dans un environnement approprié .

Le but de ce travail est de trouver le modèle idéal qui satisfaire les trois caractéristiques. La Figure 2.2 illustre l'objectif ciblé :

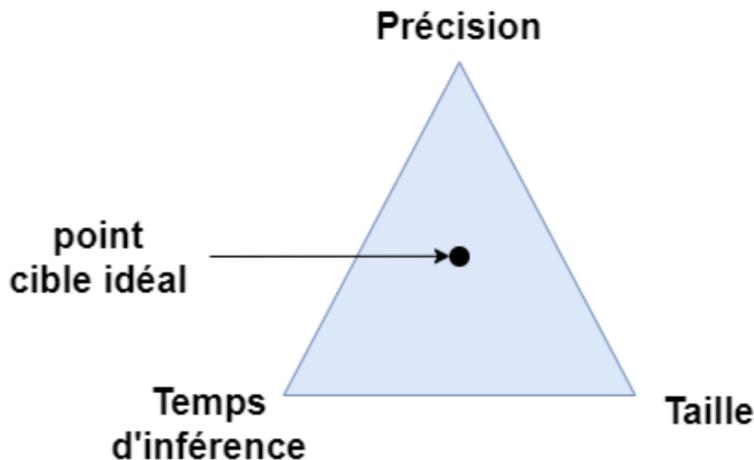


FIGURE 2.2 – Objectif Cible

2.3.2 Démarche

Notre approche commence par la collecte des données, qui sont essentiellement des images des nouilles prises par une caméra montée sur la ligne de production.

La manière de procéder par la suite consiste à :

- Prétraiter les images collectées, afin de mieux exploiter les caractéristiques de ces images.
- Préparer et classer manuellement les images en deux catégories (good / defect) , cette étape est essentielle car nous allons utiliser l'apprentissage supervisé.
- Entraînement des quatre modèles avec les images prétraitées, ces modèles sont sélectionnés à partir d'une évaluation théorique basée sur les spécifications fournies dans la plateforme Keras.
- Évaluer chaque modèle de manière pratique sur la base des trois caractéristiques définies dans le point précédent (temps d'inférence, précision et taille du modèle).
- Comparer et analyser les trois modèles et sélectionner celui qui convient le mieux à notre solution.

Cette démarche peut être visualisée par l'organigramme présent sur la Figure

2.3.3 Outils

Plusieurs outils nous ont été utiles dans notre démarche de travail que ce soit en phase d'acquisition, de structuration, de traitement, ainsi que de visualisation des données :

- Une caméra est utilisée dans notre solution pour capturer les images des nouilles, c'est une caméra à balayage de zone de marque Mindvision
- Langage de programmation Python version 3.7.
- La bibliothèque Keras pour utiliser ces modèles CNN.
- Matplotlib pour les graphiques.
- Numpy pour les calculs.
- OpenCV pour le traitement d'images.
- Une Edge TPU (NPU) utilisé comme un ordinateur de traitement.

D'autres outils nous ont été utiles dans la rédaction du mémoire :

- Google Docs pour la rédaction.
- Draw.io, Adobe Illustrator pour la réalisation des schémas et dessins graphiques.
- Zotero pour la gestion des sources bibliographiques et leur citation.

2.3.4 Propriété intellectuelle

Notre travail s'est déroulé au sein d'une entreprise, le code de l'application réalisée et certaines caractéristiques des outils technologiques ne sont donc pas publiables à travers ce document. Certaines données et codes supplémentaires sont présentés en annexe.

Les schémas et les graphiques sont réalisés par l'auteur, sauf si ils contiennent une référence ou que le contraire soit explicité.

2.4 Conclusion

Dans ce chapitre, il était question de cadrer notre travail méthodologiquement. Nous avons tout d'abord déterminé les critères à prendre en compte pour notre application qui nous a permis de formuler la problématique et de proposer des hypothèses à vérifier. Par la suite, nous avons présenté notre approche inspirée de la comparaison des modèles CNN pour la classification des images pour traiter notre problématique.

Enfin, nous avons présenté notre démarche sous la forme d'un organigramme, abordé le point de l'acquisition, du traitement et de la confidentialité des données, et présenté les outils que nous avons utilisés tant pour notre travail que pour ce document.

Dans le prochain chapitre, l'architecture de notre application sera expliquée. De plus, nous allons citer tout le matériel utilisé. Ensuite, on va faire une analyse comparative des modèles CNN existants afin de sélectionner les quatre meilleurs modèles. Enfin, nous allons implémenter et tester chacun de ces quatre modèles afin de sélectionner le meilleur modèle pour notre application.

Chapitre 3

Etude Comparative et Choix du Modèle

3.1 Introduction

Tout d'abord, nous allons présenter dans ce chapitre l'architecture de notre solution avec tous les composants nécessaires, puis nous allons reprendre les critères de comparaison présentés dans le cadre méthodologique. Pour évaluer les modèles CNN existants dans la bibliothèque Keras.

Ensuite, nous allons trier ces modèles et tirer les quatre meilleurs modèles par rapport aux critères définis précédemment. Ces modèles seront implémentés dans un cas réel afin de comparer leurs performances en pratique.

A la fin de ce chapitre, nous allons sélectionner le modèle le plus approprié pour notre application.

3.2 Architecture de la solution

L'approche consiste à créer une application de vision artificielle capable d'utiliser une caméra de détection pour distinguer les nouilles conformes des nouilles non conformes. La caméra capture des images des nouilles pendant leur déplacement sur la ligne de production. Ces images sont capturées en temps réel à l'aide d'une photocellule qui détecte l'arrivée des nouilles et transmet des impulsions électriques à la caméra pour capturer la zone de détection.

Les images sont envoyées à la base de données du logiciel pour être traitées en temps réel. Ce logiciel est implanté dans un TPU qui est le cerveau de l'ensemble du système. Ce TPU dispose d'un modèle d'apprentissage profond qui peut traiter ces images et distinguer les nouilles conformes et non-conformes en fonction des caractéristiques qui ont été entraînées auparavant. Nous détaillerons la phase d'entraînement du modèle dans la suite de ce chapitre. Le modèle comprend les caractéristiques de la nouille et cela signifie que s'il y a un changement dans les caractéristiques de la nouille, il trouvera s'il s'agit d'un changement normal, donc la nouille est toujours conforme, ou d'un changement anormal, donc la nouille est non conforme.

Suite à la réponse du modèle, autrement dit l'inférence, le TPU délivre un signal au vérin à l'aide de broches d'entrée/sortie. Si la nouille est conforme, le vérin réagit en fonction de l'inférence et la laisse passer. Si elle n'est pas conforme, elle sera poussée hors du convoyeur et placée dans un sac spécial pour les nouilles non conformes .la figure ci-dessous représente un schéma explicatif sur la solution complète :

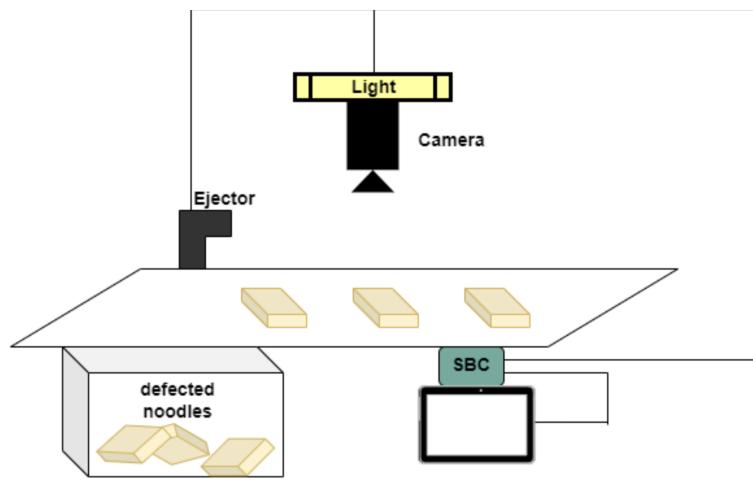


FIGURE 3.1 – Schema explicatif

Pour faciliter le travail, le logiciel devra être commandé par une interface utilisateur graphique (GUI) moderne et simple, l'interface est représentée sur un écran tactile pour permettre à l'opérateur de contrôler le système, de le configurer, d'extraire les résultats et de voir les statistiques en temps réel .la figure suivante représente GUI de notre système : GuiInterface

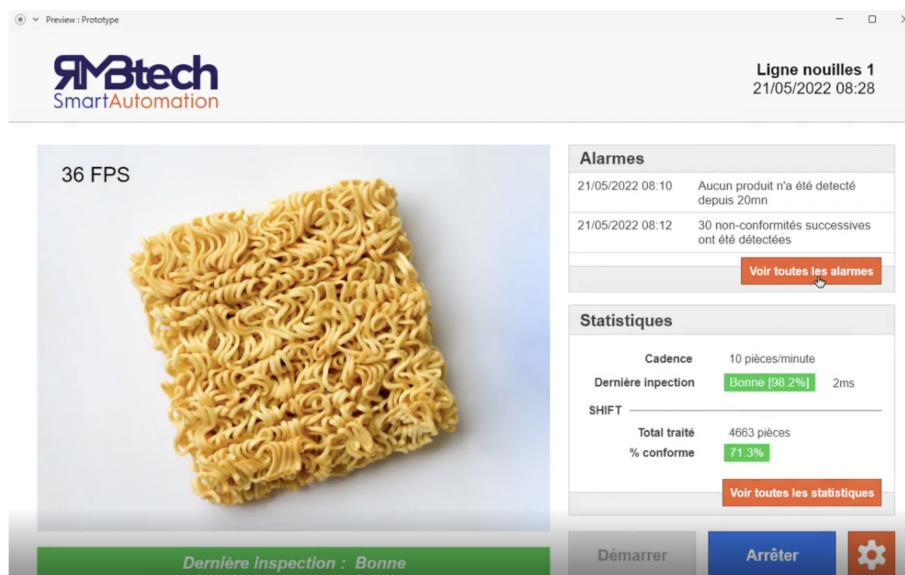


FIGURE 3.2 – GUI

3.3 Configuration Hardware et Software

Dans ce point, nous allons décrire les choix techniques de l'ensemble de la partie matérielle (Hardware) et partie logiciel (Software).

3.3.1 Choix de la caméra :

Nous avons choisi une caméra à zone de balayage car elle nous permet de recevoir rapidement une image de la zone des nouilles, et dans le cas d'un contrôle de non-conformité en temps réel, la vitesse du système est un facteur critique. Pour des raisons de rapidité également nous avons fixé la résolution à 800*600 et cela augmentera les FPS c'est-à-dire augmentera la vitesse de capture de la caméra. Lorsque la nouille traverse le champ de la photocellule l'image est capturée. Dont le champ de détection de la photocellule est de 6 cm.

3.3.2 Choix d'éclairage :

Nous avons utilisé un éclairage frontal avec une ampoule LED circulaire pour diriger la lumière vers les nouilles et éliminer les régions secondaires pour garder un focus et un contraste total sur la zone de détection de la nouille.

3.3.3 Choix du TPU :

Nous avons utilisé le TPU Asus Tinker Edge T qui est utile pour les applications industrielles car il a une capacité de traitement élevée. Tous ces composants sont rassemblés dans un support métallique qui est installé sur une bande transporteuse et sont alimentés par une source de tension de 24V.

3.4 Préparation des données

Notre recherche vise à catégoriser l'image des nouilles. L'ensemble de données d'entraînement et de test ont été créés à partir de l'ensemble de données original. Un ensemble de données contenant 4000 images a été utilisé dans ce travail pour l'entraînement, divisé en deux classes GOOD et DEFECT chaque classe contient 2000 images pour la validation on a pris 1000 images. Les images ont été choisies au hasard.

L'image originale de l'appareil photo a une taille de 800 x 600 pixels. Le centre de l'image est l'endroit où se trouvent les nouilles. Les images ont été réduites à 224 x 224 pixels afin de réduire la complexité du traitement et d'être compatibles avec l'entrée du modèle.

La figure 3.3 montre un échantillon des données avec ces deux classes GOOD et DEFECT

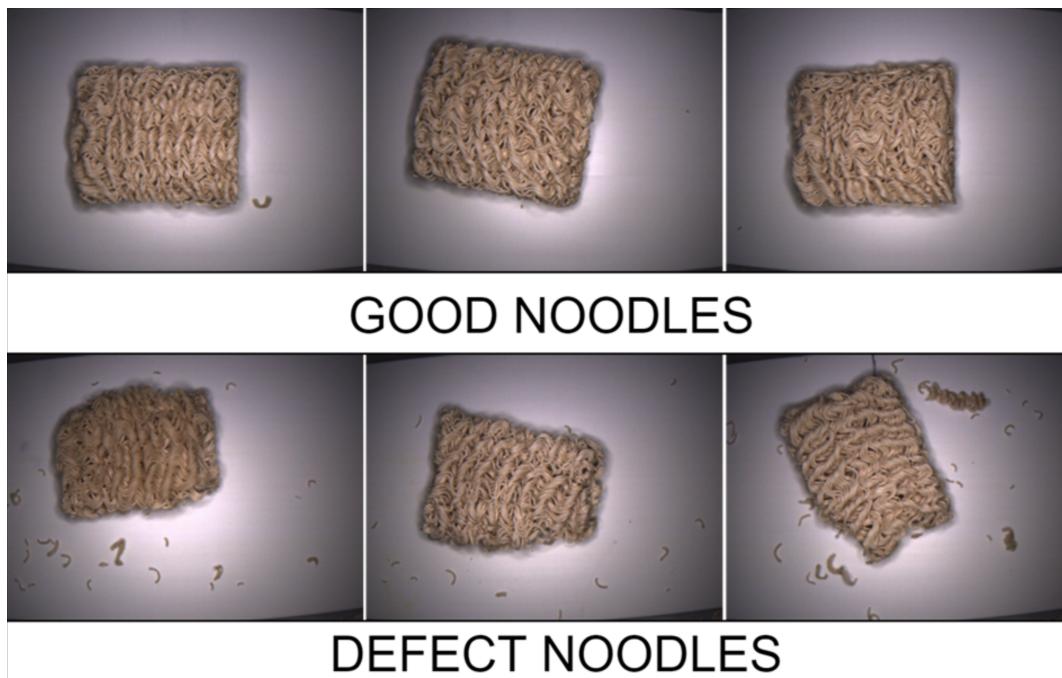


FIGURE 3.3 – GoodDefectNoodles

3.5 Implémentation des modèles

Notre travail consiste à utiliser des modèles pré-entraînés de Keras et nous allons les réentraîner avec nos données. Cette technique est appelée transfert learning, et nous l'avons abordée plus en détail dans le chapitre deux de la première partie. Une première sélection théorique a été faite manuellement à travers une comparaison des trois critères sur tous les modèles de Keras.

Cette comparaison théorique a été faite à l'aide d'une matrice de décision où nous avons donné à chaque critère une note sur 10, nous n'avons pas utilisé de pondération car les trois critères ont la même importance. Le Tableau ci-dessous montre le tableau de comparaison des modèles.

Tableau de Caractéristique

Modèle	Précision (%)	Temps d'Inférence (ms)	Taille (Mb)
Xception	94.5	8.1	88
VGG 16	90.1	4.2	528
VGG 19	90.0	4.4	549
ResNet50	92.1	4.6	98
ResNet50 V2	93.0	4.4	98
ResNet101	92.8	5.2	171
ResNet101 V2	93.8	5.4	171
ResNet152	93.1	6.5	232
ResNet152 V2	94.2	6.6	232
Inception	93.7	6.9	92
MobileNet	89.5	3.4	16
MobileNet V2	90.1	3.8	14
DenseNe121	92.3	5.4	33
DenseNe169	93.2	6.3	57
DenseNe201	93.6	6.7	80
InceptionResNetV2	95.3	10.0	215

Tableau de Notation

Modèle	Précision (%)	Temps d'Inférence (ms)	Taille (Mb)	Total
Xception	9.45	2.9	9.1	7.15
VGG 16	9.01	6.8	5.7	7.17
VGG 19	9	6.6	5.5	7.03
ResNet50	9.21	6.4	9	8.2
ResNet50 V2	9.30	6.6	9	8.23
ResNet101	9.28	5.8	8.3	7.79
ResNet101 V2	9.38	5.4	8.3	7.69
ResNet152	9.31	4.5	7.7	7.17
ResNet152 V2	9.42	4.4	7.7	7.17
Inception	9.37	4.1	9.05	7.50
MobileNet	8.95	7.6	9.8	8.78
MobileNet V2	9.01	7.4	9.9	8.77
DenseNe121	9.23	5.6	9.7	8.17
DenseNe169	9.32	4.7	9.5	7.84
DenseNe201	9.36	4.3	9.2	7.62
InceptionResNetV2	9.53	1	7.8	6.11

FIGURE 3.4 – ComparaisonModeles

D'après la figure, nous pouvons voir que quatre modèles ont été sélectionnés et qu'ils sont les suivants : MobileNet, MobileNet V2, ResNet50, ResNet50 V2.

Les architectures de ces modèles ont été détaillé dans le chapitre deux de la première partie.

3.6 Evaluation des modèles

Dans cette section, nous présenterons une évaluation des caractéristiques utilisées pour comparer les performances des quatre modèles, ainsi que les résultats produits et une discussion des résultats des modèles décrits.

Tous les modèles de cette section ont été créés avec des hyperparamètres distincts. Ces derniers ont été choisis après de multiples itérations, et pour chaque modèle, nous avons pris les hyperparamètres qui ont donné les meilleurs résultats.

Les détails des résultats pour chaque modèle est présenté ci-dessous :

3.6.1 MobileNet V1

Concernant le MobileNet, nous avons utilisé les hyperparamètres détaillés dans le tableau suivant :

Forme de l'entrée	Taille du lot	Epoques	Taux d'apprentissage
(224, 224)	32	500	5e-5

Le modèle atteint une précision de 99.25% à l'entraînement et 98.21% en teste, le taux d'erreur pour l'entraînement et le teste est respectivement 1.17%, 8.37%. Ce qui montre un bon résultat vu que l'erreur ne dépasse pas 10%. Les résultats de l'entraînement et des tests de ce modèle sont présentés dans la Figure 3.5.

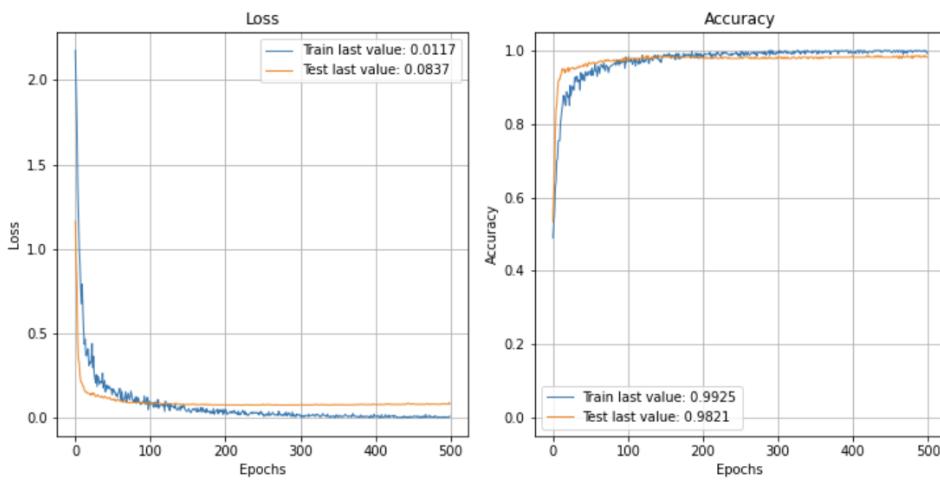


FIGURE 3.5 – MobileNetV1Result

Lors de l'implémentation du modèle, nous avons trouvé les résultats suivants : la taille et le temps d'inférence pratique sont respectivement de 9,4 Mo et 3,07 ms, en ce qui concerne la précision pratique (validation), nous avons trouvé la matrice de confusion présentée dans la Figure 3.6 qui donne une précision de 96,35%.

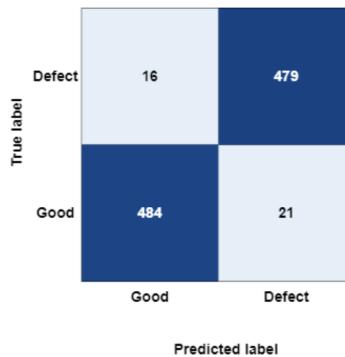


FIGURE 3.6 – MOBILENETV1TFTV

3.6.2 MobileNet V2

Le MobileNet V2 a été entraîné avec les mêmes hyperparamètres sauf qu'on a changé le taux d'apprentissage à 1e-7. Le Tableau suivant montre les hyperparamètres d'entraînement du MobileNet V2. Ce modèle a également obtenu de bons résultats en termes de précision et d'erreur.

Forme de l'entrée	Taille du lot	Epoques	Taux d'apprentissage
(224, 224)	32	500	1e-7

Il a atteint une précision à l'entraînement et au test de 99,75% et 97,85%, respectivement, l'erreur n'a pas dépassé 10% et s'est située entre 1,21% à l'entraînement et 7,73% au test. La Figure 3.7 montre les résultats d'entraînement et de test de ce modèle.

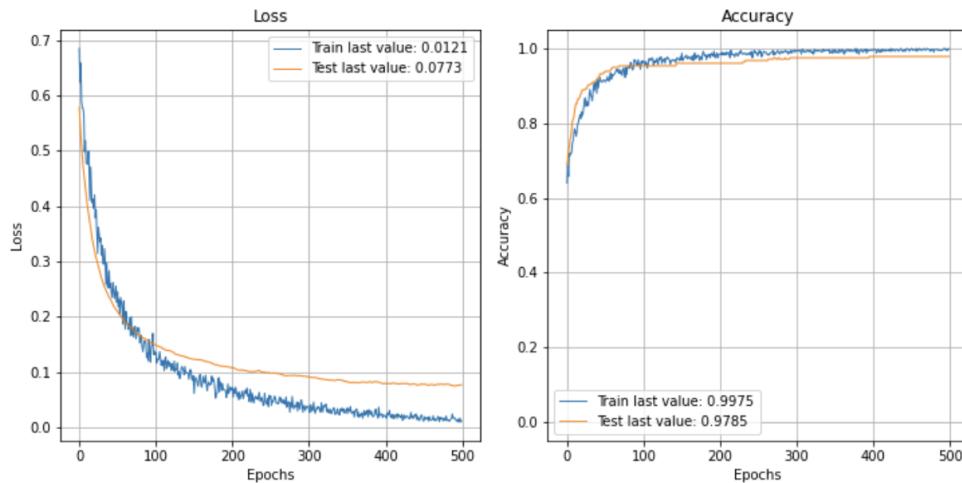


FIGURE 3.7 – MobileNetV2Result

La taille du modèle après implémentation est de 37,7 Mo, le temps d'inférence est de 3,9 ms et la précision de validation est de 95,9% après le calcul de la matrice de confusion présentée à la figure 3.8.

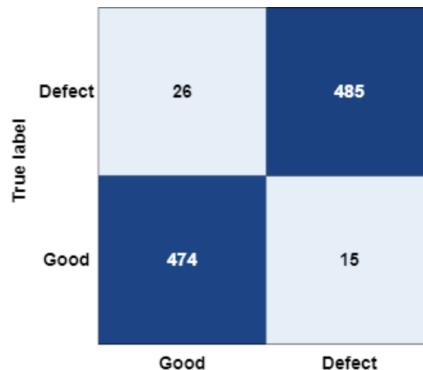


FIGURE 3.8 – MobileNetV2TFTN

3.6.3 ResNet50 V1

Pour ResNet50 V1, nous avons changé le taux d'apprentissage à 1e-5 et la taille du lot à 16. Ces hyperparamètres ont montré les meilleurs résultats pour les itérations de ResNet50 V1 et ont été représentés dans le tableau suivant :

Forme de l'entrée	Taille du lot	Epoques	Taux d'apprentissage
(224, 224)	16	500	1e-5

La précision de ce modèle était excellente, puisqu'elle était de 100% pendant la formation et de 97,13% pendant le test. Cependant, lorsque nous regardons l'erreur, nous observons que le modèle a plus de 14% pour le test, ce qui indique un Overfitting donc le modèle n'est pas fiable en termes de précision. La Figure 2-6a montre les résultats de ResNet50 V1.

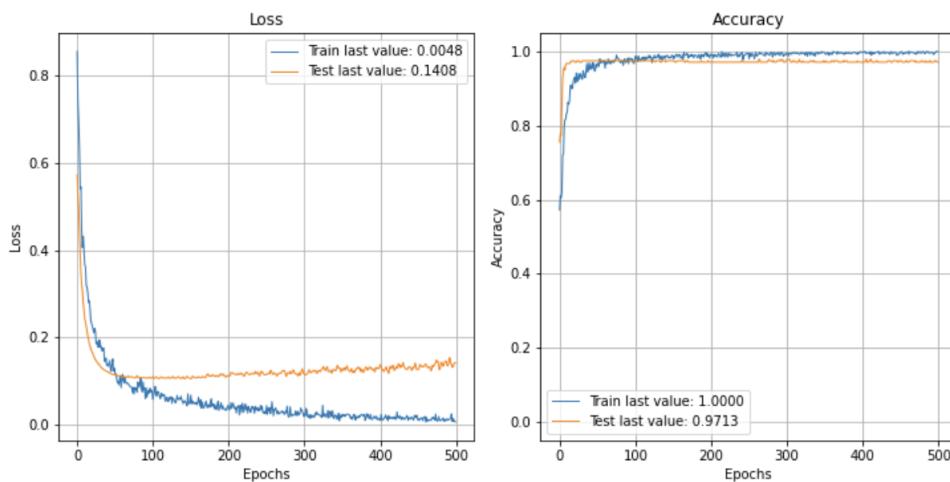


FIGURE 3.9 – ResNet50Results

Le modèle pratique a une taille de 103,2 Mo, avec un temps d'inférence de 5,1 ms. La précision pratique est de 88,1%, et les propriétés de cette précision sont illustrées à la figure 2-6b.



FIGURE 3.10 – ResNet50TFTN

3.6.4 ResNet50 V2

Enfin, pour ResNet50 V2, nous avons laissé la taille du lot à 32 et modifié le taux d'apprentissage à 2e-7. Le Tableau 2-5 suivant montre les hyperparamètres d'entraînement du ResNet50 V2. Avec ces hyperparamètres, le modèle a atteint 99,5% en entraînement et

Forme de l'entrée	Taille du lot	Epoques	Taux d'apprentissage
(224, 224)	32	500	2e-7

98,21% en test. Le modèle a atteint 1,43% pendant l'entraînement et 6,34% pendant les tests. La Figure 3.11 montre les résultats d'entraînement et de test de ce modèle. La matrice

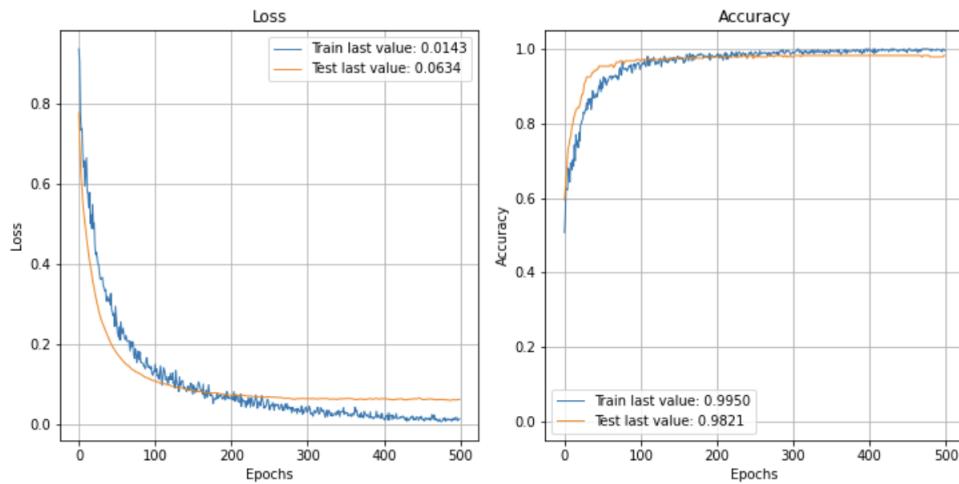


FIGURE 3.11 – ResNetV2RESULT

de confusion présenté dans la Figure 3.12 a donné une précision pratique de 93,3%. La taille de l'implémentation du modèle est de 322,8 Mo, et le temps d'inférence est de 9,3 ms.

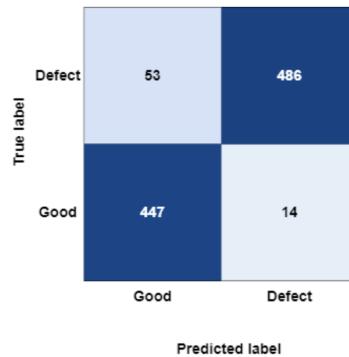


FIGURE 3.12 – ResnetV2TFTD

3.7 Analyses et discussion des résultats

Les résultats ci-dessus expliquent l'évaluation de chaque modèle. Comme une analyse à partir de ces résultats, nous pouvons effectuer une comparaison entre les quatre modèles en fonction des caractéristiques définies précédemment : la précision, le temps d'inférence, et la taille du modèle.

Cette comparaison implique l'exécution d'une autre matrice de décision, similaire à celle présentée dans le tableau 3.4, afin d'évaluer les différences entre les caractéristiques pratiques de chaque modèle et de sélectionner le meilleur modèle à appliquer dans notre système. La figure suivante montre la comparaison entre les quatre modèles :



Tableau des Caractéristique				Tableau de notation				
Modèle	Précision pratique (%)	Temps d'inférence pratique (ms)	taille pratique (Mb)	Modèle	Précision pratique (%)	Temps d'inférence pratique (ms)	Taille pratique (Mb)	Total
MobileNet V1	96.35	3.9	9.4	MobileNet V1	9.635	7.1	9.9	8.87
MobileNet V2	95.9	4.3	37.7	MobileNet V2	9.59	6.7	9.7	8.66
ResNet50 V1	88.1	5.1	103.2	ResNet50 V1	8.81	5.9	9.0	7.9
ResNet50 V2	93.3	9.3	322.8	ResNet50 V2	9.33	1.7	7.8	6.27

FIGURE 3.13 – Tableau Analyse

D'après la Figure 3.13. Nous pouvons voir que les modèles MobileNet-V1 et MobileNet-V2 sont légèrement plus précis que le modèle Resnet50 V2. D'autre part, ResNet50-V1 est loin de cette comparaison car il a eu un effet d'overfitting qui montre une diminution de sa précision. Cela implique que l'hypothèse 1 est infirmée.

MobileNet-V1 est plus performant que les autres modèles en termes de temps d'inférence, car ses couches sont moins denses. Le MobileNet V2 est un peu proche au mobileNet V1 car il est aussi n'est pas dense en termes de couches convolutives. Le ResNet V1 et V2 malgré qu'ils ne soient pas dépasser les 10s mais ils ont toujours un peu lents par rapport de MobileNet V1. Donc l'hypothèse 2 est confirmée. Les tailles des quatre modèles ont été modifiées car la méthode de transfert learning décrite précédemment dans le chapitre deux de la première partie implique l'ajout d'un nouveau classificateur (couches entièrement connectées) au modèle.

La taille augmentera donc proportionnellement à la taille du nouveau classificateur, mais même dans ce cas, la taille de MobileNet-V1 reste la plus petite par rapport aux autres modèles. Ceci implique que l'hypothèse 3 est infirmée car la taille du modèle à l'implémentation dépend du nouveau classificateur ajouté.

3.8 Conclusion

Les trois hypothèses ont été traitées dans ce dernier chapitre par évalué chaque modèle selon les trois facteurs : la précision, le temps d'inférence et la taille du modèle. Grâce à l'application des modèles dans un cas réel.

Ensuite, nous avons cité les hypothèses qui ont été réfutées et l'hypothèse unique qui a été confirmée. Enfin et après avoir considéré plusieurs itérations, nous avons finalement opté pour le modèle “MobileNet V1” en raison de ses performances d’implémentation.

Ce modèle sera implémenté dans une solution complète de détection des nouilles non conforme.

Bibliographie

- [1] Alloprof aide aux devoirs.
- [2] Cybersécurité : Définition de la cybersécurité - Sage Advice France.
- [3] Industrie — Wikipédia.
- [4] Le capteur intelligent.
- [5] L'industrie 5.0 va induire un nouveau modèle de coopération entre l'homme et la machine.
- [6] Révolutions industrielles - de l'industrie 1.0 à l'industrie 4.0.
- [7] Fan-Tien Cheng. *Industry 4.1 : Intelligent Manufacturing with Zero Defects*. John Wiley & Sons.
- [8] Marie Genest and Sébastien Gamache. Prerequisites for the Implementation of Industry 4.0 in Manufacturing SMEs. 51 :1215–1220.
- [9] Joachim Michniewicz and Gunther Reinhart. Cyber-physical Robotics – Automated Analysis, Programming and Configuration of Robot Cells based on Cyber-physical-systems. 15 :566–575.
- [10] Andreas Schumacher, Selim Erol, and Wilfried Sihn. A Maturity Model for Assessing Industry 4.0 Readiness and Maturity of Manufacturing Enterprises. 52 :161–166.