

Table des matières

Liste des figures

Liste des tableaux

Chapitre 1

Cadre du projet et étude de l'existant

1.1 Introduction

Ce premier chapitre établit le cadre contextuel et organisationnel de la recherche en présentant de manière systématique l'entreprise d'accueil BACOVET, filiale du groupe BACOSPORT et acteur significatif de l'industrie textile tunisienne. L'analyse s'attache à mettre en évidence les caractéristiques organisationnelles, le positionnement stratégique au sein de la chaîne de valeur textile, ainsi que l'orientation de l'entreprise vers l'innovation technologique.

Dans un second temps, le projet est contextualisé dans le paradigme de l'Industrie 4.0, permettant d'identifier de manière structurée les défis opérationnels liés à la planification et au suivi de production. Une étude critique et approfondie de l'existant, fondée sur l'observation empirique et l'analyse documentaire, permettra de formuler précisément la problématique à résoudre.

Enfin, une introduction structurée de la solution intelligente proposée et de la méthodologie de recherche adoptée clôturera ce chapitre, établissant ainsi les fondements théoriques et pratiques du travail de recherche entrepris.

1.2 Présentation de l'entreprise d'accueil : Baco-vet

1.2.1 Historique et identité

Le groupe BACOSPORT, fondé en 1967, constitue aujourd'hui un acteur majeur et structurant de l'industrie textile tunisienne, spécialisé dans la confection de vêtements sportswear, de sous-vêtements, de pyjamas et de maillots de bain. Dans l'écosystème organisationnel du groupe, BACOVET, filiale stratégique implantée à Boumerdes, occupe une position clé dans la chaîne de valeur en assurant les opérations critiques de coupe industrielle, de préparation des tissus, de sérigraphie, de contrôle qualité et de logistique de transfert vers l'atelier de confection. L'expertise technique reconnue et la rigueur organisationnelle déployée par BACOVET contri-

buent de manière substantielle à la compétitivité internationale du groupe et à sa capacité à répondre aux exigences qualitatives et temporelles des marchés export.



Figure 1.1: logo d'entreprise



Figure 1.2: Siège de l'entreprise Bacosport

1.2.2 Partenariats stratégiques et présence mondiale

Le succès du groupe Bacosport et de sa filiale Bacovet repose sur une collaboration étroite avec de grandes marques internationales du secteur textile. Grâce à son savoir-faire technique, sa flexibilité et sa capacité à répondre à des exigences de qualité élevées, Bacovet entretient des partenariats durables avec des enseignes renommées à travers l'Europe et le bassin méditerranéen. Parmi ses principaux clients figurent des marques telles que Décathlon, La Redoute, Damart, Sunflair, DD, Romy Aim, et Calao. Ces collaborations stratégiques témoignent de la confiance des donneurs d'ordre internationaux et renforcent la position de Bacovet comme un acteur de référence dans le textile tunisien à vocation exportatrice.

En s'inscrivant dans des chaînes d'approvisionnement mondiales, Bacovet adopte des standards de qualité et de traçabilité conformes aux attentes des marchés européens. Cette ouverture internationale pousse également l'entreprise à investir dans la digitalisation et dans des solutions innovantes, pour maintenir un niveau de performance concurrentiel.



Figure 1.3: Clients de BACOVET

1.2.3 Certifications de Bacovet

Bacovet s'engage à garantir la qualité et la sécurité de ses produits à travers le respect de normes internationales reconnues. L'entreprise est certifiée selon la norme ISO 9001 : 2015, qui atteste de l'efficacité de son système de management de la qualité et de son orientation vers l'amélioration continue.

Dans le cadre de sa responsabilité sociétale et environnementale, Bacovet applique également les standards OEKO-TEX® Standard 100, qui garantissent que

les tissus utilisés sont exempts de substances nocives et répondent aux exigences de sécurité pour la santé humaine.

Ces certifications renforcent la crédibilité de Bacovet auprès de ses partenaires et confirment son engagement envers la qualité, la durabilité et la conformité aux normes internationales.



Figure 1.4: Certifications de BACO-VET



1.3 Organisation et organigramme

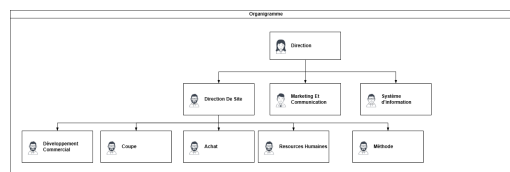


Figure 1.5: organigramme de BACOVET

1.4 Processus global chez BACOVET

Chez BACOVET, la chaîne de production textile est structurée en plusieurs étapes successives assurant une traçabilité , une qualité constante et un respect des délais.La figure??présente les processus global de production

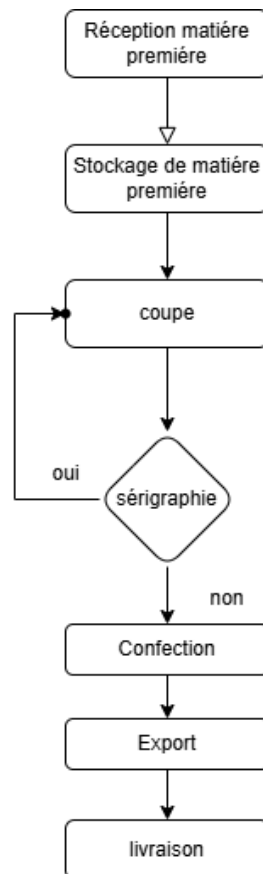


Figure 1.6: *Diagramme de séquence: "les procédure global de production chez BACOVET "*

1.4.1 Processus détaillé de l'atelier de coupe

L'atelier de coupe joue un rôle essentiel dans la production textile chez BACOVET. C'est à ce niveau que les rouleaux de tissu, qui représentent la matière la plus chère, sont découpés en pièces précises. Une bonne coupe permet de limiter les pertes de tissu et de garantir que toutes les pièces ont les bonnes dimensions. Cet atelier se situe entre l'approvisionnement des matières et l'assemblage final. Une gestion efficace de cette étape aide à respecter les délais, à bien utiliser les ressources, et à assurer la qualité des produits. Le respect des procédures (du marquage à la vérification finale) permet de réduire les erreurs et d'améliorer la performance globale. La figure ?? présente le processus détaillé de l'atelier de coupe.

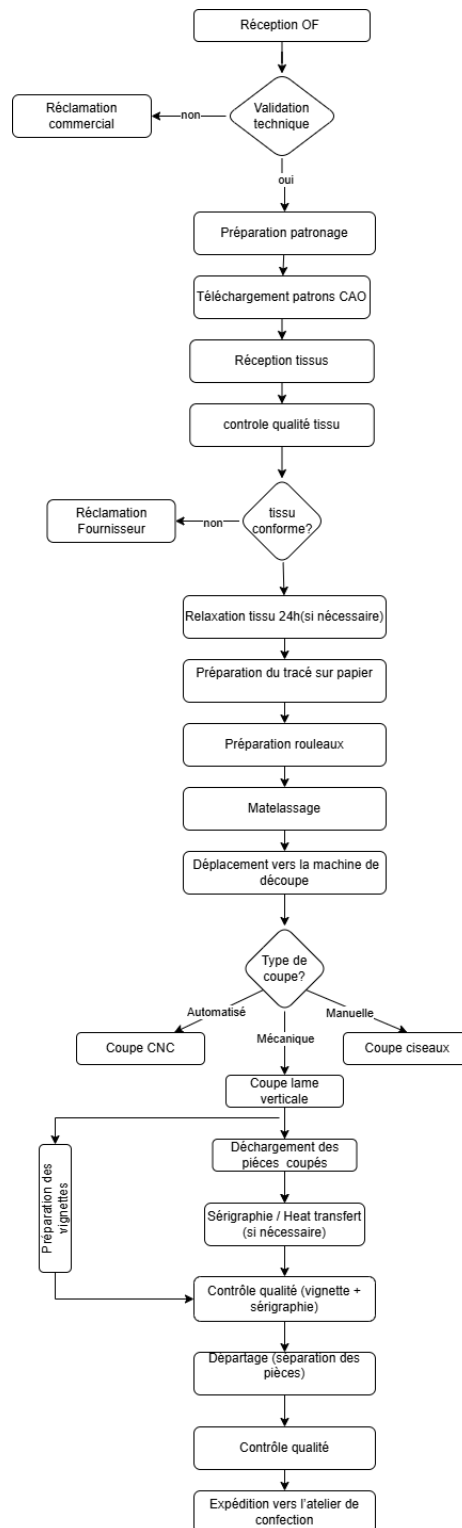


Figure 1.7: *Diagramme de séquence : Processus détaillé de l'atelier de coupe*

1. Réception des ordres de fabrication (OF)

L'atelier reçoit des ordres de fabrication (OF) qui indiquent les modèles à produire, les quantités et les tissus à utiliser. Ces ordres sont envoyés depuis

la planification. On vérifie que toutes les informations sont correctes et que les rouleaux de tissu sont disponibles.

2. Relaxation du tissu (si nécessaire)

Certains tissus doivent se détendre avant d'être découpés, pour éviter qu'ils ne rétrécissent plus tard. Cette étape se fait en laissant reposer le tissu à l'air libre ou à la vapeur pendant 24 à 72 heures.

3. Préparation des rouleaux et découpe du papier

Avant la coupe, les rouleaux de tissu sont préparés. On vérifie leur longueur, leur largeur et leur couleur. On coupe le papier de base (papier matelas) qui sera placé sous le tissu pour la coupe.

4. Matelassage

Le tissu est empilé en plusieurs couches sur la table de coupe. Le nombre de plis est défini selon l'épaisseur du tissu et le volume de production.



Figure 1.8: Zone matelassage

5. Placement et marquage

L'étape de placement et de marquage est essentielle pour bien préparer la coupe. Le placement consiste à organiser les patrons sur le tissu de façon à utiliser le moins de matière possible, tout en respectant le sens du tissu, le droit fil et les motifs. Le marquage sert à tracer les contours des pièces et à indiquer les repères nécessaires au montage.

6. Coupe

La coupe peut se faire de différentes manières selon le type de production. Pour les petites séries, on utilise la coupe manuelle avec des ciseaux. Pour les plus grandes séries, la coupe mécanique est préférée, avec des machines à lame verticale. La coupe automatisée permet une grande précision grâce à la programmation des machines.



Figure 1.9: Coupe automatisée



Figure 1.10: Machine de coupe

7. Déchargement des pièces coupées

Les pièces découpées sont triées et empilées avec soin. Cette étape requiert une vigilance particulière afin d'éviter les mélanges ou les endommagements.

8. Sérigraphie / Heat Transfert (si nécessaire)

Certaines pièces nécessitent un marquage par sérigraphie ou transfert thermique. Cette étape permet l'identification ou la décoration des produits.



Figure 1.11: Machine Sérigraphie

9. Préparation et contrôle des vignettes

Des vignettes contenant les informations essentielles (taille, modèle, OF) sont générées et associées aux pièces. Leur exactitude est cruciale pour le bon déroulement des étapes suivantes.

10. Départage

Le départage consiste à trier les pièces selon les tailles et les modèles. Il s'agit d'une opération de précision qui facilite le travail de l'atelier de confection.

11. Contrôle qualité final

Avant expédition, chaque lot est inspecté pour valider sa conformité. Cette étape est cruciale pour garantir un niveau de qualité élevé.



Figure 1.12: Contrôle Qualité

12. Expédition vers l'atelier de confection

Les pièces sont conditionnées puis transférées à l'atelier de confection. Cette étape est suivie informatiquement via G.Pro, assurant une traçabilité complète.



Figure 1.13: Atelier de confection

1.4.2 Personnel de l'atelier de coupe

L'atelier de coupe mobilise une équipe de quarante-quatre personnes organisées selon une structure hiérarchique claire :

- **Un responsable d'atelier** : assure la supervision générale et la planification des opérations
- **Deux chefs d'équipe** : encadrent les opérateurs et suivent la production quotidienne
- **Vingt opérateurs de matelassage** : préparent et empilent les tissus selon les spécifications
- **Six opérateurs de coupe** : découpent les pièces et assurent la maintenance de premier niveau des machines
- **Treize opératrices de départage** : trient et classent les pièces coupées par taille et modèle
- **Deux contrôleurs qualité** : vérifient la conformité des lots et assurent la traçabilité

L'outil central de coordination est le *dispatch sheet*, document de planification quotidienne. Il synthétise les ordres de fabrication en cours, les quantités à produire, les priorités et les délais. Chaque matin, le responsable distribue les dispatch sheets aux chefs d'équipe, qui répartissent les tâches entre les opérateurs. Cette pratique garantit une visibilité claire sur les objectifs et facilite le suivi de l'avancement, contribuant à la réduction des temps d'attente et à l'optimisation des ressources.

1.4.3 Matériels et paramètres techniques

L'atelier dispose d'équipements adaptés aux différents volumes de production. Les tables de coupe (15 à 20 mètres) permettent le matelassage de plusieurs dizaines de plis. Les machines se déclinent en trois catégories : outils manuels pour les petites séries, machines à lame verticale pour les volumes moyens, et systèmes automatisés à commande numérique pour les grandes séries, intégrant des logiciels de placement optimisé.

Le flux logistique s'organise autour de zones fonctionnelles : réception et relaxation (conditions contrôlées), matelassage, coupe, départage et conditionnement. Des chariots élévateurs et transpalettes facilitent les déplacements entre zones.

Le tableau ?? présente les paramètres techniques détaillés de l'atelier de coupe.

Élément	Valeur
Nombre de tables	6 (dont 1 automatique, 4 manuelles, 1 vide)
Chariot matelasseur automatique	1
Robots de coupe	2 (translation horizontale sur 5 tables)
Effectif sur les tables	17 opérateurs
Équipe de départage	13 postes / 13 personnes
Zones de stock	3 (avant/après sérigraphie)

Tableau 1.1: Paramètres techniques de l'atelier de coupe

1.5 Cadre du projet

L'atelier de coupe de BACOVET, bien que performant, souffre de l'absence d'un système digitalisé de planification et de suivi en temps réel. Cette lacune génère des pertes de temps, un manque de visibilité sur la production et une capacité limitée d'anticipation des retards. Ce projet vise à développer une solution numérique intelligente intégrant les principes de l'Industrie 4.0 pour optimiser la gestion de l'atelier.

1.5.1 Visualisation de la situation actuelle de l'atelier de coupe

Afin de mieux comprendre le contexte opérationnel et les limites du système actuel, la Figure ?? présente la carte mentale de la situation existante de l'atelier de coupe de BACOVET, réalisée à l'aide de l'outil Coggle. Cette représentation synthétise les flux d'information et les ruptures digitales entre les différents outils utilisés (Divatex et G.Pro).

On observe notamment :

- **Une fragmentation du système d'information** entre Divatex (gestion amont) et G.Pro (suivi aval) sans interconnexion.
- **Une zone grise manuelle** au niveau des étapes de matelassage et coupe, où aucun suivi numérique ni mesure automatique des temps n'est effectué.

- **Une absence de visibilité globale** : les temps réels, les retards et les performances ne sont pas mesurés, entraînant un manque d'anticipation et de réactivité.

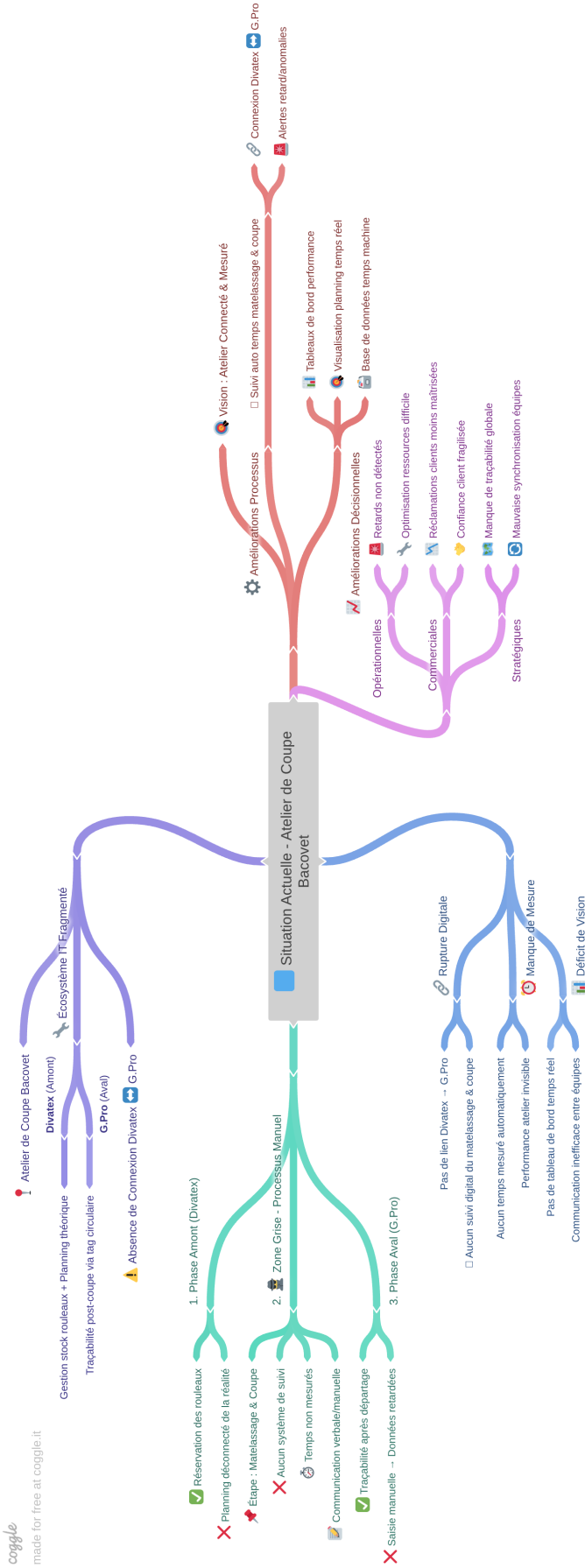


Figure 1.14: Carte mentale de la situation actuelle de l'atelier de coupe

1.5.2 Définition du projet (Méthode SIPOC)

La méthode SIPOC permet d'identifier les éléments clés du projet et de clarifier son périmètre d'intervention.

Tableau 1.2: Analyse SIPOC du projet

Élément	Description
Suppliers	Direction BACOVET, service informatique, opérateurs de l'atelier, fournisseurs de technologies IA
Inputs	Données historiques de production, spécifications techniques des machines, contraintes opérationnelles, cahier des charges
Process	Diagnostic DMAIC, collecte et préparation des données, développement d'algorithmes IA, conception du tableau de bord, tests et déploiement
Outputs	Modèle prédictif IA, tableau de bord en temps réel, système d'ordonnancement, documentation technique, KPIs
Customers	Responsable d'atelier, chefs d'équipe, opérateurs, direction générale, service qualité

1.5.3 Objectifs du projet

Objectif général : Concevoir et déployer une solution numérique intelligente pour optimiser la gestion de l'atelier de coupe, intégrant l'IA et les principes de l'Industrie 4.0.

Objectifs spécifiques :

1. Réaliser un diagnostic complet de l'atelier selon la méthodologie DMAIC
2. Développer un modèle IA de prédiction des temps de matelassage (précision > 85%)
3. Concevoir un système d'ordonnancement intelligent optimisant l'allocation des ressources
4. Créer un tableau de bord de pilotage en temps réel avec KPIs pertinents
5. Valider et déployer la solution avec formation des utilisateurs

1.5.4 Périmètre du projet (Méthode QQQQCCP)

La méthode QQQQCCP permet de définir précisément le périmètre d'intervention du projet.

1.5.5 Limites et contraintes

- **Périmètre limité :** Atelier de coupe uniquement (matelassage et coupe)
- **Durée :** 4 mois imposant une approche MVP (Minimum Viable Product)

Tableau 1.3: Analyse QQQQCCP du projet

Question	Réponse
Qui ?	Étudiant en Master Génie Industriel, encadrement académique (ENIM) et professionnel (BACOVET), utilisateurs finaux (chefs d'équipe, opérateurs)
Quoi ?	Transformation digitale de l'atelier de coupe : modèle prédictif IA, système d'ordonnancement, tableau de bord en temps réel, documentation technique
Où ?	Atelier de coupe de BACOVET, Boumerdes, Tunisie. Exclusions : ateliers de sérigraphie, confection et contrôle qualité
Quand ?	4 mois (février-mai 2025) : Diagnostic (1 mois), Développement (1,5 mois), Tests et déploiement (1 mois), Formation et clôture (0,5 mois)
Comment ?	Méthodologies : DMAIC (diagnostic), CRISP-ML(Q) (développement IA), Agile/Scrum. Technologies : Python, Machine Learning, FastAPI, React, PostgreSQL
Combien ?	1 étudiant à temps plein, encadrement hebdomadaire, collaboration avec 3 opérateurs et 2 chefs d'équipe, accès aux données historiques (2 ans)
Pourquoi ?	Problèmes : absence de système digitalisé, pertes de temps, manque de visibilité. Bénéfices attendus : réduction des temps d'attente (20-30%), amélioration du taux d'utilisation des machines (15-25%), visibilité en temps réel

- **Intégration** : Respect de l'infrastructure informatique existante de BACOVET
- **Données** : Qualité et complétude des données historiques à vérifier
- **Adoption** : Accompagnement au changement et formation nécessaires

Cette définition structurée du cadre du projet, appuyée sur les méthodes SIPOC et QOOQCCP, permet d'établir une base solide pour la conduite du projet et garantit une compréhension partagée entre toutes les parties prenantes. Elle constitue également un référentiel pour l'évaluation de l'atteinte des objectifs et la mesure de la performance du projet.

1.6 Conclusion du chapitre

Ce chapitre a établi le cadre contextuel et organisationnel de la recherche en présentant l'entreprise d'accueil BACOVET et son positionnement stratégique dans l'écosystème textile tunisien. L'analyse critique de l'existant a permis d'identifier les limitations structurelles de l'atelier de coupe, notamment l'absence d'un système digitalisé intégré.

Ce projet de transformation digitale constitue une opportunité stratégique majeure pour BACOVET de renforcer son agilité industrielle et sa compétitivité opérationnelle, tout en posant les fondations méthodologiques et technologiques d'une digitalisation progressive et évolutive des autres maillons de la chaîne de production. Les résultats attendus de cette recherche contribueront à la fois au renforcement des capacités opérationnelles de l'entreprise et à l'enrichissement des connaissances académiques sur l'application des principes de l'Industrie 4.0 au secteur textile tunisien.

Chapitre 2

Mener une action d'amélioration d'un atelier de travail avec Audit, les outils lean 4.0

2.1 Introduction

Ce deuxième chapitre présente de manière structurée et systématique la démarche méthodologique employée pour analyser et améliorer les performances de l'atelier de coupe. L'architecture de ce chapitre s'organise en deux parties complémentaires et interdépendantes.

La première partie expose le **diagnostic de maturité digitale** de l'atelier de coupe réalisé au travers d'un **audit approfondi** et structuré, fondé sur le référentiel international **IMPULS** (Industrie 4.0 Maturity Index) spécifiquement conçu pour l'évaluation de la maturité digitale industrielle. Cet audit méthodologique permet d'évaluer de manière objective et quantifiée le niveau de digitalisation actuel de l'atelier, et d'identifier de manière priorisée les axes stratégiques d'amélioration en cohérence avec les standards de l'Industrie 4.0.

La seconde partie détaille l'application rigoureuse et systématique de la **méthodologie DMAIC** (*Define, Measure, Analyze, Improve, Control*), issue du référentiel **Lean Six Sigma**, mise en œuvre dans le cadre d'une **action d'amélioration Lean 4.0** visant à identifier de manière structurée les dysfonctionnements opérationnels de l'atelier de coupe, à quantifier leurs impacts, à analyser leurs causes racines, et à proposer des solutions d'amélioration fondées sur des données objectives.

L'objectif principal de cette démarche méthodologique combinée est d'établir une base solide, rigoureuse et fondée sur des preuves empiriques pour la conception et le développement de **solutions digitales intelligentes**, en s'appuyant à la fois sur une **évaluation objective du niveau de maturité digitale** et sur une **analyse quantitative approfondie des performances actuelles** de l'atelier.

2.2 Partie I : Audit de maturité digitale

2.2.1 Introduction a l'audit IMPULS

Dans un contexte de transformation numérique croissante, il est essentiel d'**évaluer le niveau de maturité digitale** des différents services de production. L'audit de maturité digitale permet d'identifier les forces, les faiblesses et les opportunités d'évolution vers les standards de l'Industrie 4.0.

2.2.2 Objectifs de l'audit

- Ávaluer le niveau d'intégration des technologies numériques dans l'atelier de coupe
- Identifier les axes d'amélioration en lien avec l'excellence opérationnelle et l'Industrie 4.0
- Préparer un plan d'action de transformation digitale adapté a la réalité terrain

2.2.3 Phase Innover : Propositions d'amélioration

2.2.3.1 Constat principal

L'analyse de la phase *Analyze* a révélé plusieurs dysfonctionnements limitant la performance de l'atelier de coupe, notamment une **saturation rapide des tables de matelassage** due a l'absence de système de planification et de suivi en temps réel.

Ces contraintes se traduisent par :

- Une **indisponibilité fréquente** des tables lors des pics d'activité ;
- Des **conflits de planification** entre opérateurs, dus a un manque de visibilité globale sur les ressources ;
- L'absence d'un **outil numérique** permettant de synchroniser le planning avec l'état réel des tables.

Ces constats soulignent la nécessité d'un **pilotage intelligent des ressources**, s'inscrivant pleinement dans la logique de l'Industrie 4.0, ou la digitalisation et l'automatisation des processus permettent de renforcer la réactivité et l'efficacité opérationnelle.

2.2.3.2 Proposition : Algorithme intelligent de gestion des tables de matelassage

Afin d'optimiser la planification et l'utilisation des ressources physiques de l'atelier, nous proposons un **algorithme de gestion dynamique** des tables de matelassage. Cet outil vise a offrir une **visualisation en temps réel** de la disponibilité des tables, tout en anticipant les conflits d'utilisation.

2.2.3.2.1 Principe de fonctionnement Chaque table est identifiée par un code unique (T1, T2, ..., T6). Le système compare en continu l'heure actuelle avec le planning de matelassage. Il met automatiquement à jour le statut de chaque table selon trois états possibles : *Occupée* (en cours d'utilisation), *Réservée* (prévue pour une opération à venir) et *Disponible* (libre pour un nouveau matelas).

2.2.3.2.2 Pseudocode de l'algorithme

Entrées :

Tables = {T1, T2, ..., T6}
 Planning (heure début, durée prévue)
 Heure actuelle = H

Pour chaque table T[i] :

Si (H >= heure début[i] ET H < heure fin prévue[i]) :
 Statut[T[i]] = "Occupée"
 Sinon si (H < heure début[i]) :
 Statut[T[i]] = "Réservée"
 Sinon :
 Statut[T[i]] = "Disponible"

Afficher le statut de chaque table

2.2.3.3 Application pratique

L'algorithme peut être déployé sous plusieurs formes :

- **Une feuille Excel automatisée**, avec macros et mise à jour minute par minute ;
- **Une interface web locale**, connectée aux données de production et accessible depuis le poste du chef d'atelier.

Ce système permet :

- de **visualiser en temps réel** la disponibilité de chaque table ;
- d'**éviter les conflits** ou chevauchements de planning ;
- d'**améliorer la fluidité** du flux de travail entre préparation, matelassage et coupe.

Tableau 2.1: Exemple de statut temps réel

Table	Heure actuelle	Statut
T1	09:00	Occupée (jusqu'à 09:30)
T2	09:00	Disponible
T3	09:00	Occupée (jusqu'à 09:45)

2.2.3.4 Bénéfices attendus

L'intégration de cet algorithme dans le système de gestion de production offre plusieurs avantages :

- **Réduction du temps d'attente** entre les opérations de coupe ;
- **Optimisation de l'utilisation des ressources existantes** sans investissement matériel supplémentaire ;
- **Amélioration de la coordination** entre opérateurs et planificateurs ;
- **Digitalisation partielle du pilotage de production**, contribuant à la transition vers une **usine connectée**.

Ainsi, cette solution constitue une première étape vers la **transformation numérique** de l'atelier, en s'inscrivant dans une démarche *Lean 4.0* conciliant **amélioration continue** et **technologies intelligentes**.

2.2.4 Méthodologie d'évaluation

2.2.4.1 Choix du questionnaire IMPULS

Le questionnaire **IMPULS** à « **Industrie 4.0 Readiness** » a été choisi pour sa pertinence dans l'analyse de la maturité digitale industrielle **2015industrie** **xu2018industry**, **kagermann2013recommendations**. Il couvre les thématiques suivantes :

- Efficacité des processus
- Automatisation, innovation et intégration numérique
- Gestion des performances et des flux
- Amélioration continue et flexibilité

2.2.4.2 Mode de diffusion

Le questionnaire a été administré en ligne via Google Forms, avec un accompagnement en présentiel pour aider les répondants à bien comprendre chaque question technique.

2.2.4.3 Cible de l'enquête

L'enquête a ciblé **11 personnes clés** de l'atelier de coupe, incluant :

- Chef d'atelier
- Agents d'ordonnancement/planification
- Opérateurs machine

- Responsables qualité coupe
- Responsable maintenance

Ces profils ont été choisis en fonction de leur connaissance du fonctionnement réel de l'atelier et de leur implication dans les processus numériques ou manuels actuels.

2.2.5 Déroulement de l'enquête

- **Préparation** : création du formulaire Google Forms (Figure ??), adaptation des questions à l'environnement Bacovet.
- **Lancement** : envoi du lien aux personnes concernées, accompagnement en face à face sur place.
- **Assistance** : chaque répondant a été guidé par l'auteur du projet pour expliciter les critères du questionnaire.
- **Collecte et consolidation** : les réponses ont été collectées automatiquement, puis exploitées pour l'analyse.(Les Figures ??;??)

Figure 2.1: Formulaire Google Forms

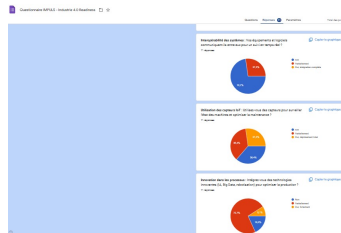


Figure 2.2: Diagramme circulaire (Pie chart)

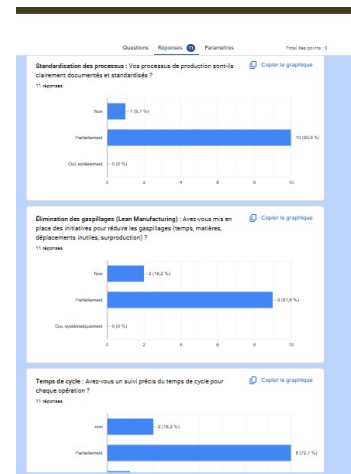


Figure 2.3: Histogramme / Diagramme en barres (Bar chart)

2.3 Résultats de l'évaluation de la maturité digitale

2.3.1 Méthodologie d'évaluation

Méthode: L'évaluation de la maturité digitale de l'atelier de coupe a été réalisée à l'aide du questionnaire **IMPULS**, un outil de diagnostic

développé par l'Association Allemande de l'Industrie (VDMA) pour mesurer l'état d'avancement des entreprises dans l'adoption des principes de l'Industrie 4.0.

L'évaluation de la maturité digitale a été effectuée à l'aide d'un calculateur basé sur les retours de 11 répondants. Chaque critère a été noté selon trois niveaux d'implémentation : « Non », « Partiellement », et « Oui », permettant de générer un score global par critère .

2.3.2 Détail des scores par critère

2.3.2.0.1 Analyse du déroulement de coupe (extrait documentaire) Afin de compléter la collecte terrain, une **analyse documentaire** a été réalisée à partir du fichier *analyse deroulement COUPE*. Cette source décrit pas-à-pas le déroulement d'articles en coupe et sert de support à la validation des séquences observées et des points de mesure.

2.3.2.0.2 Aperçu (intégration directe du PDF) À défaut de captures déjà extraites, les pages clés du document sont intégrées ci-dessous directement depuis le PDF.

Analyse de déroulement (AD)															
Sous-prosessus étudié :															
Borne de début et fin :															
Etapas de processus		Etat				Valeurs				Observations et commentaires Rapport temps opérationnel	VA(MIN)	Actions			
		opération	transport	Contrôle	attente	Stockage	Distance (M)	Quantité pièce	Nva/pièce			Temps (MIN)	Eliminer	combiner	Permuter
1	Déplacement de l'import à zone de stockage coupe		✗				{12.3 ; 32}			0.039	0				
2	STOCKAGE COUPE							4033	3.22	3.21	0				
3	Déplacement de coupe vers magasin import		✗				{12.3 ; 32}		0.039	0.039	0				
4	Déroulement	✗							0.004	0.004	0				
5	Déplacement de magasin à coupe		✗				{12.3 ; 32}		0.039	0.039	0				
6	Relaxation 24 h								0.074	0.074	0	STOCKAGE FORCE			
7	Matlissage	✗								0.202	0.202				
8	Coupe	✗								0.023	0.023				
9	Préparation vignettes	✗								0.26	0.26				
10	Départage	✗								0.33	0.33				

[illegible]

Figure 2.4: Fiche d'enregistrement (modèle Rim)

Tâche	Début	Fin	Durée (min)	Responsable	État
Préparation d'une fiche de coupe	07:30	08:20	00:50	CAO	Terminé
Préparation d'un tracé OF	08:20	09:10	00:50	CAO	Terminé
Panne électrique sur tout l'usine	09:30	10:10	00:40	service informatique	Terminé
Relaxation tissu doublure	13:25	après 72h			
Matelassage automatique					
Matelassage manuel(it princ(19/02)	14:30	15:03	00:33	2 opératrices	Terminé
matelassage manuelle doublure (20/02)	14:15	14:57	00:42	2 opératrices	Terminé
Travail du robot de coupe	hors temps	hors temps	30	Robot avec 2 opérateurs	Terminé
Ticktaget(tissu principale)	08:30	09:17	00:47	Opérateur 3	Terminé
Ajout des tags sur les pièces(tissu principal)	09:20	09:24	00:04	Opérateur 3	Terminé
Coupe doublure					
dépatage doublure					
	En panne	En panne	Bloqué	Maintenance Informatique	En panne
robot de coupe 2					tissu principal:3,38m doublure:2,65m
					nbr de packet par matelat
					17
					nombre de pièce par packet
					30
					couper
					2 38

Figure 2.5: Fiche d'enregistrement (modèle Leotard 500g pink)

2.3.2.0.3 Description synthétique du document Le document *analyse déroulement COUPE* présente, sous forme structurée et illustrée, le déroulement réel des opérations dans la salle de coupe. Il décrit successivement les étapes de préparation (CAO, vérification OF et matières), de matelassage (manuel et automatique), de coupe (robotisée et/ou manuelle), puis de départage et vignettage, en précisant pour chaque étape les acteurs impliqués, les supports utilisés, les temps observés, ainsi que les incidents/perturbations relevés (pannes, attentes, changements de priorité, relaxation tissu, etc.).

2.3.2.0.4 Objectifs de l'analyse documentaire

- Valider, par triangulation, les séquences opérationnelles observées sur le terrain et celles décrites par les procédures internes.
- Identifier les points de contrôle utiles à la mesure (horodatages, transitions d'étapes, variables influentes comme nombre de plis, laize, longueur).
- Mettre en évidence les sources récurrentes de variabilité et de perturbation impactant la planification (attentes tables, pannes robot, relaxation doublure, saisies manuelles).
- Définir une base de référence fiable pour la modélisation des temps et l'optimisation ultérieure (chapitres Analyse et Amélioration).

2.3.2.0.5 Principaux enseignements

- Les transitions entre matelassage et coupe constituent un point critique de synchronisation; l'absence de visibilité temps réel génère des attentes et des replanifications.
- Le temps de matelassage est fortement corrélé au nombre de plis et aux dimensions du matelas; la variabilité opérateur/machine demeure notable.
- Les perturbations majeures recensées (pannes robot, relaxation tissu, changements de priorité) expliquent une part significative des écarts planning.
- La traçabilité amont/aval est partielle: des données clés restent saisies manuellement et non consolidées.

2.3.2.0.6 Limites et précautions

- La documentation se concentre sur des cas représentatifs mais non exhaustifs; elle doit être complétée par des mesures systématiques et des séries temporelles plus longues.
- Certaines informations (délais d'attente, durées anormales) peuvent être sous-déclarées en l'absence d'instrumentation continue.

2.3.2.0.7 Conclusion opérationnelle Cette analyse documentaire consolide la compréhension du flux réel en salle de coupe et fournit des repères mesurables pour la phase **Analyser**. Elle justifie la mise en place d'une instrumentation de mesure plus fine, l'amélioration de la visualisation temps réel et l'usage d'un modèle prédictif des temps de matelassage/coupe pour soutenir la planification.

2.3.2.1 Description synthétique des processus mesurés

Les activités mesurées et leurs ordres de grandeur observés sont :

- **Préparation des fichiers CAO** et traçabilité OF : 50 a 60 minutes.
- **Matelassage automatique** (1 table dédiée, chariot automatisé) : 20 a 30 minutes par matelas selon le tissu.
- **Matelassage manuel** (4 tables, 2 opérateurs/table) : 35 a 50 minutes par matelas.
- **Coupe robotisée** (2 robots horizontaux, 5 tables) : 25 a 40 minutes selon la complexité.
- **Départage et ajout de vignettes** (13 opérateurs) : 40 a 60 minutes par lot.
- **Stockage et contrôle qualité** : transfert vers trois zones de stockage (avant/après sérigraphie).

2.3.2.2 Constats clés de la collecte

- **Variabilité des temps** par modèle (jusqu'à ± 15 min sur matelassage manuel).
- **Perturbations fréquentes** : pannes des robots (notamment robot 2), pannes d'électricité, attente de relaxation tissu (jusqu'à 72h pour la doublure).
- **Communication manuelle** et absence d'outil de visualisation partagée du planning.

2.3.2.3 Paramètres techniques de l'atelier (référence)

Élément	Valeur
Nombre de tables	6 (dont 1 automatique, 4 manuelles, 1 vide)
Chariot matelasseur automatique	1
Robots de coupe	2 (translation horizontale sur 5 tables)
Effectif sur les tables	17 opérateurs
Équipe de départage	13 postes / 13 personnes
Zones de stock	3 (avant/après sérigraphie)

Tableau 2.2: Paramètres techniques de l'atelier

2.3.2.4 Synthèse de la phase de mesure

La phase **Mesurer** quantifie les écarts entre le planning théorique et la réalité opérationnelle. Les données montrent l'impact des pannes machines, du manque de visualisation temps réel et de l'absence de remontées automatiques, générant des **retards non détectés** et une fiabilité de planning dégradée. Ces éléments constituent la base de la phase **Analyser** qui suit.

2.3.3 Phase 3 : Analyze (Analyser)

2.3.3.1 Objectif de la phase Analyse

La phase **Analyse** vise à identifier les causes racines des perturbations observées dans la planification de l'atelier de coupe. Elle s'appuie sur les résultats collectés durant la phase de mesure, notamment les données chronométrées, les pannes, et la disponibilité des ressources.

L'objectif est de comprendre pourquoi les délais de matelassage et de coupe varient, et quelles sont les sources principales des retards. Cette analyse permet de cibler les actions correctives et préventives à mettre en œuvre dans la phase suivante.

2.3.3.2 Méthodes d'analyse utilisées

Deux méthodes Lean Six Sigma ont été mobilisées :

- **Le diagramme d'Ishikawa (causes-effet)** : pour regrouper les causes potentielles selon les catégories classiques (Méthode, Main d'œuvre, Milieu, Machine, Matière).
- **L'analyse directe des données mesurées** : pour corréler certaines variables (ex. : largeur du matelas et durée de matelassage, disponibilité des tables et temps d'attente).

2.3.3.3 Analyse des temps réels par activité

Les données mesurées ont permis d'identifier les durées moyennes suivantes :

Tableau 2.3: Analyse des temps observés par activité

Activité	Durée moyenne	Observations
Préparation OF / CAO	50 minutes	Stable, dépend de la qualité de la fiche technique
Matelassage automatique	20 à 30 min / matelas	Efficace mais dépend de la disponibilité du chariot
Matelassage manuel	35 à 50 min / matelas	Variabilité selon tissu et opérateurs
Coupe robotisée	25 à 40 min	Dépend des pannes / files d'attente
Départage + vignettage	45 à 60 min	Poste critique, coordination multiple

2.3.3.4 Analyse des perturbations

L'analyse croisée a permis de mettre en évidence :

- **Un manque de synchronisation** entre les opérations de matelassage et de coupe dû a l'attente de libération des tables.
- **Des blocages fréquents** causés par :
 - Pannes des robots (robot de coupe 2 souvent en panne).
 - Délai de relaxation tissu doublure (jusqu'a 72h).
 - Erreurs dans la priorisation des ordres de fabrication.

2.3.3.5 Capacités et limites techniques observées

Tableau 2.4: Analyse des ressources et limitations

Ressource	Capacité théorique	Limitation observée
Tables de matelassage	6 (1 auto, 4 manuelles, 1 vide)	Saturation rapide lors de pics de production
Robots de coupe	2 robots couvrant 5 tables	En cas de panne, files d'attente sur la coupe
Opérateurs sur tables	17 personnes	Charge inégale, pas de standardisation
Départage / vignettage	13 postes	Coordination complexe entre les t'ches

2.3.3.6 Diagramme d'Ishikawa

La Figure ?? suivante illustre les principales causes des retards observés dans l'atelier :

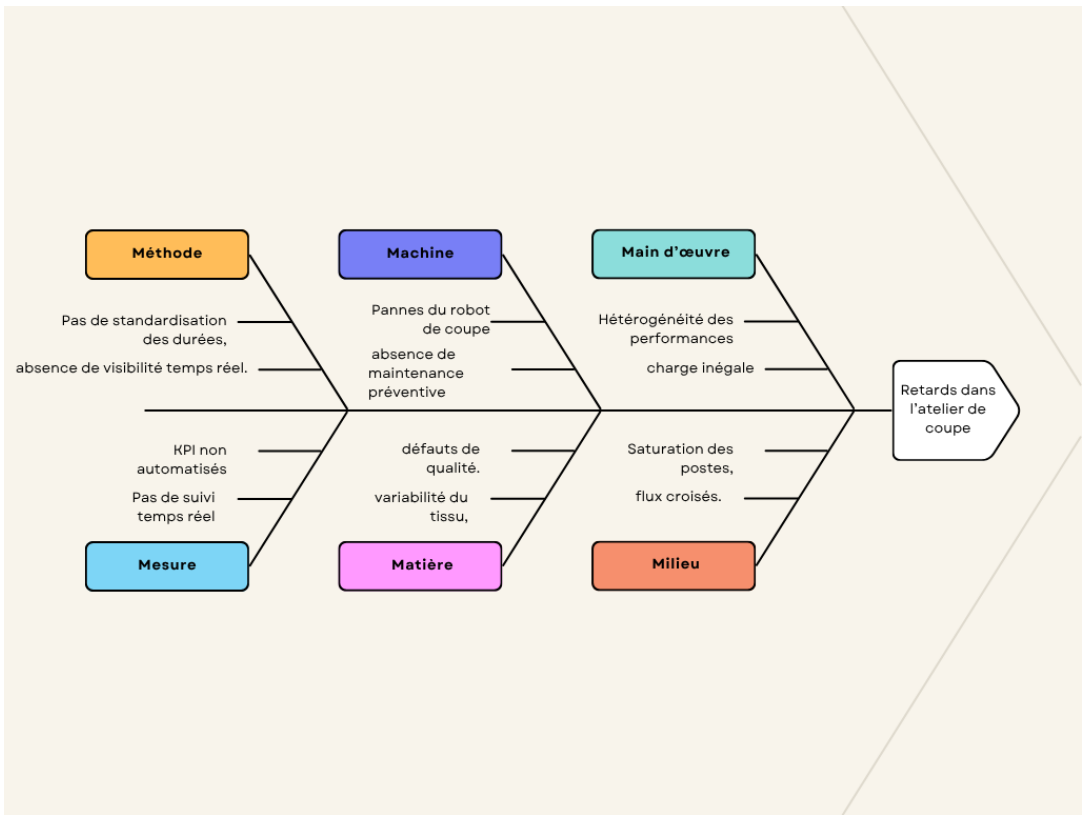


Figure 2.6: Diagramme d'Ishikawa : Analyse des causes racines des retards dans l'atelier de coupe

2.3.3.7 Analyse directe des données mesurées

L'analyse directe des données collectées lors de la phase Mesurer a permis de mettre en évidence plusieurs corrélations significatives :

- **Corrélation largeur du matelas et durée de matelassage** : Les matelas plus larges nécessitent généralement plus de temps de manipulation et d'alignement.
- **Corrélation disponibilité des tables et temps d'attente** : Lorsque toutes les tables sont occupées simultanément, les opérateurs attendent en moyenne 32 minutes avant de commencer le matelassage.
- **Variabilité selon le type de tissu** : Les tissus doublure nécessitent une relaxation préalable (jusqu'à 72h), impactant directement la planification.
- **Impact des pannes robot** : Le robot de coupe 2 présente un taux de panne de 18% (vs 6% pour les autres), générant des files d'attente importantes.

2.3.3.8 Synthèse des causes racines identifiées

Tableau 2.5: Synthèse des causes par catégorie

Catégorie	Cause racine identifiée
Machine	Pannes fréquentes des robots, absence de maintenance préventive
Méthode	Pas de standard sur les durées de t'ches, séquençement non optimisé
Milieu	Saturation des postes, espace restreint
Main d'Œuvre	Hétérogénéité des performances entre opérateurs
Matière	Tissu nécessitant relaxation longue (doublure : 72h)

2.3.3.9 Conclusion de la phase Analyse

Cette phase a permis d'identifier clairement les facteurs qui altèrent la performance globale du processus. L'absence d'outils de visualisation en temps réel, combinée à une dépendance excessive aux ressources critiques (robots, tables), engendre des retards fréquents et non anticipés dans la production. Les deux méthodes utilisées (diagramme d'Ishikawa et analyse directe des données) ont complétement l'identification des causes racines et la compréhension des mécanismes de perturbation.

2.3.4 Phase 4 : Improve (Améliorer)

2.3.4.1 Constat principal

L'analyse de la phase *Analyse* a révélé plusieurs dysfonctionnements limitant la performance de l'atelier de coupe, notamment une **saturation rapide des tables de matelassage** due à l'absence de système de planification et de suivi en temps réel.

Ces contraintes se traduisent par :

- Une **indisponibilité fréquente** des tables lors des pics d'activité ;
- Des **conflits de planification** entre opérateurs, dus a un manque de visibilité globale sur les ressources ;
- L'absence d'un **outil numérique** permettant de synchroniser le planning avec l'état réel des tables.

Ces constats soulignent la nécessité d'un **pilotage intelligent des ressources**, s'inscrivant pleinement dans la logique de l'Industrie 4.0, ou la digitalisation et l'automatisation des processus permettent de renforcer la réactivité et l'efficacité opérationnelle.

2.3.4.2 Proposition : Algorithme intelligent de gestion des tables de matelassage

Afin d'optimiser la planification et l'utilisation des ressources physiques de l'atelier, nous proposons un **algorithme de gestion dynamique** des tables de matelassage. Cet outil vise a offrir une **visualisation en temps réel** de la disponibilité des tables, tout en anticipant les conflits d'utilisation.

2.3.4.2.1 Principe de fonctionnement Chaque table est identifiée par un code unique (T1, T2, ..., T6). Le système compare en continu l'heure actuelle avec le planning de matelassage. Il met automatiquement a jour le statut de chaque table selon trois états possibles :

- *Occupée* (en cours d'utilisation)
- *Réservée* (prévue pour une opération a venir)
- *Disponible* (libre pour un nouveau matelas)

2.3.4.2.2 Pseudocode de l'algorithme

Entrées :

Tables = {T1, T2, ..., T6}
 Planning (heure début, durée prévue)
 Heure actuelle = H

Pour chaque table T[i] :

Si (H >= heure début[i] ET H < heure fin prévue[i]) :
 Statut[T[i]] = "Occupée"
 Sinon si (H < heure début[i]) :
 Statut[T[i]] = "Réservée"
 Sinon :
 Statut[T[i]] = "Disponible"

Afficher le statut de chaque table

2.3.4.2.3 Schéma de fonctionnement de l'algorithme La Figure ?? illustre le flux de décision de l'algorithme de gestion des tables de matelassage, depuis la collecte des données d'entrée jusqu'à l'affichage des statuts en temps réel.

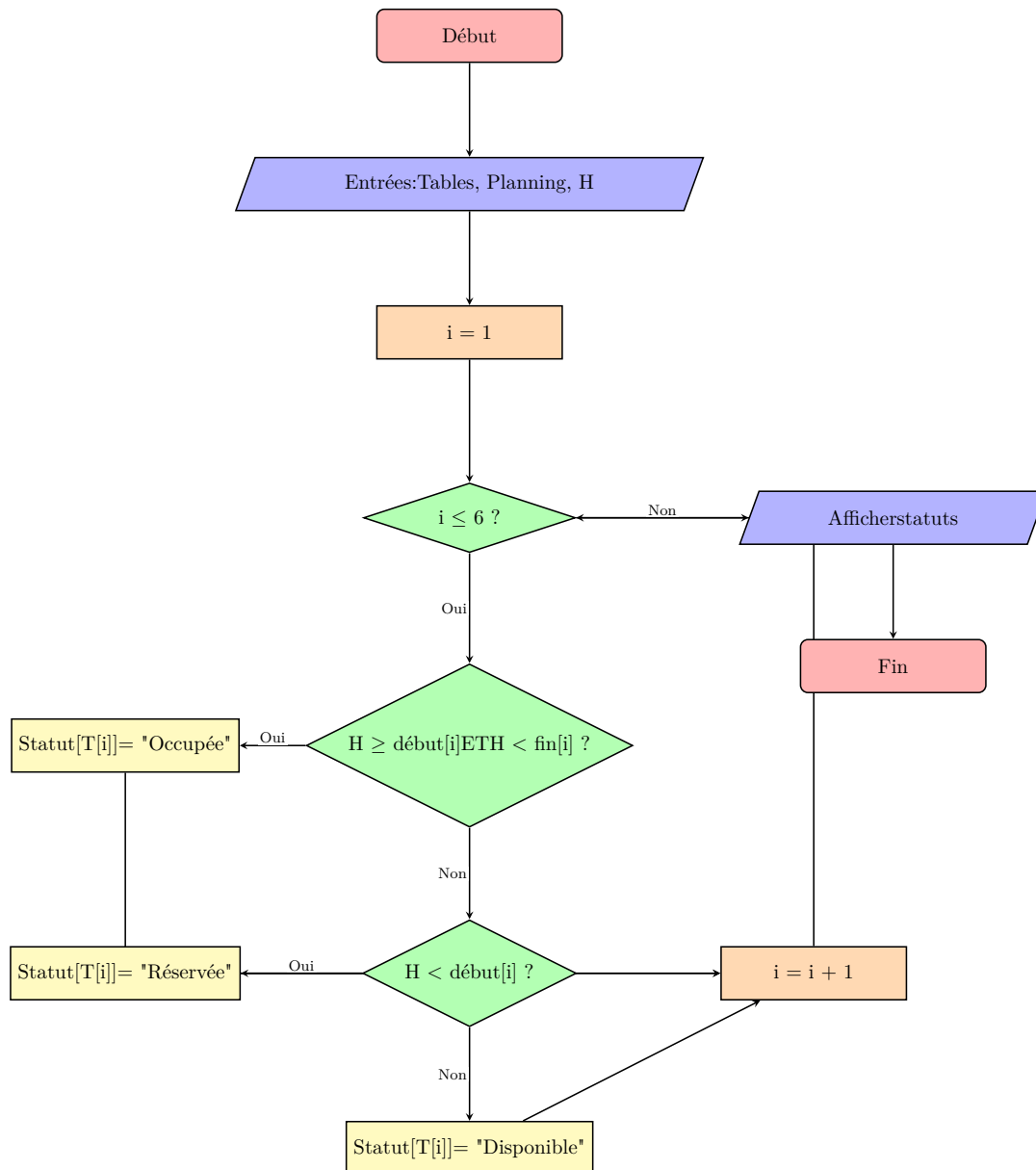


Figure 2.7: Diagramme de flux de l'algorithme de gestion des tables de matelassage

2.3.4.3 Application pratique

L'algorithme peut être déployé sous plusieurs formes :

- **Une feuille Excel automatisée**, avec macros et mise à jour minute par minute ;
- **Une interface web locale**, connectée aux données de production et accessible depuis le poste du chef d'atelier.

Ce système permet :

- De **visualiser en temps réel** la disponibilité de chaque table ;
- D'**éviter les conflits** ou chevauchements de planning ;
- D'**améliorer la fluidité** du flux de travail entre préparation, matelassage et coupe.

Tableau 2.6: Exemple de statut temps réel

Table	Heure actuelle	Statut
T1	09:00	Occupée (jusqu'à 09:30)
T2	09:00	Disponible
T3	09:00	Occupée (jusqu'à 09:45)

2.3.4.4 Bénéfices attendus

L'intégration de cet algorithme dans le système de gestion de production offre plusieurs avantages :

- **Réduction du temps d'attente** entre les opérations de coupe ;
- **Optimisation de l'utilisation des ressources existantes** sans investissement matériel supplémentaire ;
- **Amélioration de la coordination** entre opérateurs et planificateurs ;
- **Digitalisation partielle du pilotage de production**, contribuant à la transition vers une **usine connectée**.

Ainsi, cette solution constitue une première étape vers la **transformation numérique** de l'atelier, en s'inscrivant dans une démarche *Lean 4.0* conciliant **amélioration continue** et **technologies intelligentes**.

2.3.5 Phase Contrôler : Pérennisation des améliorations

2.3.5.1 Objectifs de la phase de contrôle

La phase **Contrôler** (Control) constitue la dernière étape de la méthodologie DMAIC. Elle vise à **pérenniser les améliorations** mises en place lors de la phase précédente, à **surveiller les performances** dans le temps, et à garantir que les gains obtenus ne se dégradent pas. Cette phase assure la **standardisation des nouvelles pratiques** et l'instauration d'un système de **suivi continu** permettant de détecter rapidement toute dérive.

Dans le contexte de l'atelier de coupe, la phase de contrôle permet de :

- Maintenir l'efficacité de l'algorithme de gestion des tables de matelassage ;
- Assurer la fiabilité et la mise à jour régulière des données de planification ;

- Garantir l'adhésion du personnel aux nouvelles procédures digitales ;
- Mettre en place des indicateurs de performance (KPI) pour un pilotage objectif.

2.3.5.2 Mise en place d'indicateurs de performance (KPI)

Pour assurer un suivi efficace des améliorations, plusieurs **indicateurs clés de performance** sont définis et suivis régulièrement :

Tableau 2.7: Indicateurs de performance pour le suivi de l'amélioration

Indicateur	Description	Cible
Taux de disponibilité des tables	Pourcentage de temps où les tables sont disponibles sans conflit	> 85%
Temps d'attente moyen	Temps moyen d'attente entre matelassage et coupe	< 15 min
Nombre de conflits de planning	Nombre de chevauchements ou conflits détectés par semaine	< 3
Taux d'utilisation de l'algorithme	Fréquence d'utilisation de l'outil de gestion par les opérateurs	> 90%
Respect du planning	Pourcentage d'opérations réalisées dans les délais prévus	> 80%

Ces indicateurs sont mesurés de manière **hebdomadaire** et font l'objet d'une revue mensuelle avec l'équipe de production pour identifier les éventuelles dérives et mettre en place des actions correctives.

2.3.5.3 Système de suivi et de visualisation

Un **tableau de bord de suivi** est mis en place pour visualiser en temps réel l'évolution des indicateurs de performance. Ce tableau de bord peut prendre la forme :

- D'un **fichier Excel partagé** avec graphiques automatisés (courbes d'évolution, histogrammes) ;
- D'un **dashboard web** accessible depuis les postes de l'atelier, affichant les KPI en temps réel ;
- D'un **affichage visuel** dans l'atelier (écran de supervision) permettant à tous les opérateurs de suivre les performances.

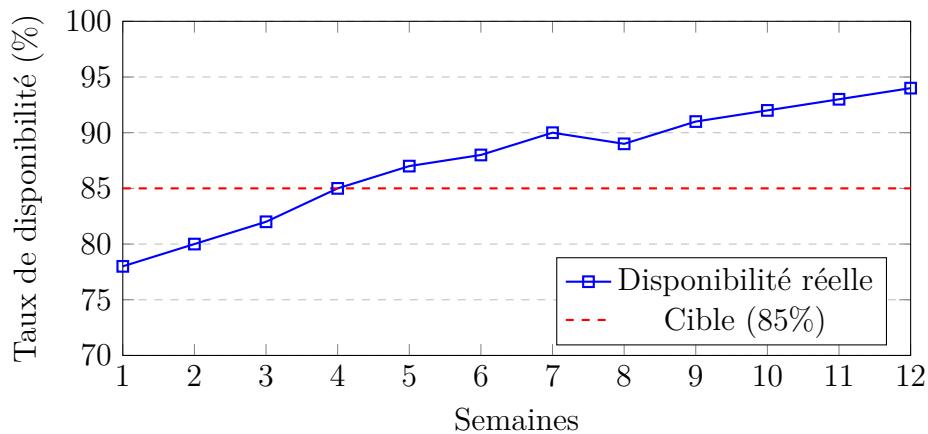


Figure 2.8: Exemple de suivi du taux de disponibilité des tables sur 12 semaines

2.3.5.4 Mécanismes de contrôle et d'alerte

Pour garantir la réactivité face aux dérives, des **mécanismes d'alerte automatiques** sont intégrés au système :

- **Alerte de conflit** : Notification automatique lorsque deux opérations sont planifiées sur la même table au même moment ;
- **Alerte de retard** : Signal envoyé au chef d'atelier si une opération dépasse le temps prévu de plus de 20% ;
- **Alerte de sous-utilisation** : Notification si une table reste inutilisée pendant plus de 2 heures consécutives en période de production ;
- **Rapport hebdomadaire automatique** : Génération d'un rapport récapitulatif des performances envoyé par email aux responsables.

Ces alertes permettent une **intervention rapide** et évitent l'accumulation de dysfonctionnements.

2.3.5.5 Standardisation des procédures

La pérennisation des améliorations passe par la **formalisation et la standardisation** des nouvelles pratiques. Cela inclut :

- **Rédaction de procédures opératoires standardisées (SOP)** décrivant l'utilisation de l'algorithme de gestion des tables ;
- **Formation du personnel** à l'utilisation de l'outil et aux nouvelles méthodes de planification ;
- **Documentation des bonnes pratiques** : création d'un guide utilisateur illustré, accessible à tous les opérateurs ;
- **Audits réguliers** : vérification trimestrielle du respect des procédures et de l'utilisation effective de l'outil.

2.3.5.6 Amélioration continue

La phase de contrôle ne se limite pas à maintenir les acquis, elle s'inscrit dans une logique d'**amélioration continue** (Kaizen). Des **réunions d'amélioration** sont organisées mensuellement avec l'équipe de production pour :

- Analyser les résultats des indicateurs de performance ;
- Identifier les nouvelles opportunités d'optimisation ;
- Recueillir les retours d'expérience des opérateurs ;
- Ajuster l'algorithme ou les procédures en fonction des besoins terrain.

Un **cycle PDCA** (Plan-Do-Check-Act) est ainsi instauré pour garantir une dynamique d'amélioration permanente.

2.3.5.7 Conclusion de la phase Contrôler

La phase de contrôle assure la **pérennité des gains** obtenus grâce à l'algorithme de gestion des tables de matelassage. En combinant suivi des indicateurs, mécanismes d'alerte, standardisation des pratiques et amélioration continue, cette phase garantit que les bénéfices de la transformation digitale se maintiennent dans le temps et continuent de s'améliorer.

Cette démarche DMAIC complète, de la définition du problème jusqu'au contrôle des solutions, constitue le socle méthodologique de la transformation Lean 4.0 de l'atelier de coupe, préparant ainsi le terrain pour les développements techniques détaillés dans les chapitres suivants.