

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

MINISTRY OF HIGHER EDUCATION  
AND SCIENTIFIC RESEARCH

HIGHER SCHOOL IN APPLIED SCIENCES  
--T L E M C E N--



المدرسة العليا في العلوم التطبيقية  
École Supérieure en  
Sciences Appliquées

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

المدرسة العليا في العلوم التطبيقية  
-تلمسان-

Mémoire de fin d'étude

Pour l'obtention du diplôme de Master

Filière : Génie industriel

Spécialité : Management industriel et logistique

Présenté par :

Aridj Wessam MRAH

Thème

**Utilisation de la blockchain pour la traçabilité  
des produits alimentaires**

Soutenu publiquement, le 15/09/2022, devant le jury composé de :

M Mustapha Anwar BRAHAMI	MCA	ESSA. Tlemcen	Président
M Fouad MALIKI	MCB	ESSA. Tlemcen	Directeur de mémoire
M Mohammed BENNEKROUF	MCA	ESSA. Tlemcen	Examineur
Mme Imen KOULOUGHLI	MCB	ESSA. Tlemcen	Examinatrice

Année universitaire : 2021/2022

---

# Remerciement

Je tiens en premier lieu à remercier « Allah » tout puissant et miséricordieux qui m'a donné la force, la volonté et le courage pour mener à terme ce travail,

Je remercie également Monsieur **MALIKI** Fouad responsable de ma formation, pour son écoute et sa compagnie,

je remercie également les membres de jury, pour l'honneur qu'ils m'ont fait en acceptant de juger ce travail.

Enfin, Je m'adresse mes sincères remerciements à **MOI, la guerrière**. Je suis trop fière de moi

Merci.

- *Aridj Wissem*

# Table des matières

<b>1</b>	<b>Généralités sur la logistique</b>	<b>2</b>
1.1	Introduction . . . . .	3
1.2	Les Origines Historiques . . . . .	3
1.3	Définition et évolution de la logistique : . . . . .	4
1.4	Les types de la logistique : . . . . .	5
1.5	les flux dans la logistique : . . . . .	5
1.5.1	les flux matériels : . . . . .	5
1.5.2	les flux d'informations : . . . . .	5
1.6	Le rôle de la logistique : . . . . .	6
1.7	Périmètre de la fonction logistique : . . . . .	6
1.8	les objectifs de la logistique : . . . . .	7
1.9	Les enjeux de la logistique dans l'entreprise : . . . . .	7
1.10	les contraintes de la logistique : . . . . .	7
1.11	les missions d'un logisticien : . . . . .	8
1.12	La chaîne logistique : . . . . .	8
1.12.1	notion de la chaîne logistique : . . . . .	8
1.13	Définition de la chaîne logistique : . . . . .	9
1.14	les acteurs de la chaîne logistique : . . . . .	10
1.14.1	Une chaîne logistique directe (CLD) : . . . . .	10
1.14.2	Une chaîne logistique étendue (CLE) : . . . . .	10
1.14.3	Une chaîne logistique globale (CLG) : . . . . .	11
1.15	Structure des chaînes logistiques : . . . . .	12
1.16	les différents niveaux de décision sur la chaîne logistique : . . . . .	12
1.16.1	Le niveau stratégique : . . . . .	12
1.16.2	Le niveau tactique : . . . . .	13
1.16.3	Le niveau opérationnel : . . . . .	13
1.17	Les processus de la chaîne logistique : . . . . .	14
1.18	La gestion de la chaîne logistique (SCM) : . . . . .	14
1.18.1	Définition de la gestion de la chaîne logistique : . . . . .	14
1.18.2	les différents enjeux de la SCM : . . . . .	15
1.18.3	Les tâches dédiées au service SCM : . . . . .	16
1.19	Les objectifs visés de la SCM : . . . . .	17
1.20	Logistique agroalimentaire : . . . . .	17
1.20.1	Les caractéristiques de la logistique agroalimentaire : . . . . .	17
1.20.2	Enjeux et défis de la logistique agroalimentaire : . . . . .	18
1.21	Les limites de la logistique agro-alimentaire : . . . . .	18
1.22	La chaîne d'approvisionnement agroalimentaire : . . . . .	19

1.23	Traçabilité agroalimentaire : . . . . .	20
1.23.1	Définition de la traçabilité : . . . . .	20
1.23.2	Traçabilité de l'origine et traçabilité des processus : . . . . .	20
1.23.3	Traçabilité des produit agro-alimentaire sur la chaine d'approvisionnement : . . . . .	21
1.24	Conclusion : . . . . .	21
<b>2</b>	<b>État de l'art de la blockchain</b>	<b>22</b>
2.1	Introduction : . . . . .	23
2.2	Notion de la Blockchain : . . . . .	23
2.3	Mécanismes de vérification des blocs : . . . . .	24
2.3.1	Preuve de travail : . . . . .	24
2.3.2	Preuve d'enjeu : . . . . .	24
2.3.3	Preuve d'enjeu déléguée (DPoS) : . . . . .	25
2.3.4	Tolérance pratique aux pannes byzantines : . . . . .	25
2.4	Architecture de la Blockchain : . . . . .	25
2.5	Fonctionnement de la Blockchain : . . . . .	25
2.6	Progression de la blockchain : . . . . .	27
2.6.1	Blockchain 1.0 (Bitcoins) : . . . . .	27
2.6.2	Blockchain 2.0 (Contrats Intelligents) : . . . . .	27
2.6.3	Ethereum : . . . . .	27
2.6.4	Blockchain 3.0 (Innovations basées sur les Smart Contracts) : . . . . .	29
2.7	Concepts et définitions liés à la technologie Blockchain : . . . . .	29
2.7.1	P2P (Peer to Peer) : . . . . .	29
2.7.2	Un bloc : . . . . .	29
2.7.3	Hachage : . . . . .	30
2.7.4	Hachage du bloc et sa hauteur : . . . . .	30
2.7.5	Merkle Tree : . . . . .	31
2.7.6	Minage : . . . . .	31
2.7.7	Mécanisme de consensus : . . . . .	31
2.8	Types de la Blockchain : . . . . .	31
2.8.1	Blockchain public : . . . . .	32
2.8.2	Blockchain privée : . . . . .	32
2.8.3	Blockchain autorisée : . . . . .	32
2.9	Acteurs de Blockchain : . . . . .	32
2.10	Les différentes couches de la Blockchain : . . . . .	33
2.10.1	La couche Internet : . . . . .	33
2.10.2	Couche de l'expérience utilisateur (UX) : . . . . .	33
2.10.3	La couche d'application : . . . . .	33
2.10.4	Couche de protocole Blockchain : . . . . .	34
2.11	Domaines d'applications de la Blockchain : . . . . .	34
2.11.1	Supply chain (Chaîne d'approvisionnement ) : . . . . .	34
2.11.2	Vote : . . . . .	34
2.11.3	identité numérique : . . . . .	34
2.11.4	Gouvernement : . . . . .	34
2.11.5	Santé : . . . . .	34
2.12	Les avantages de la Blockchain : . . . . .	35
2.13	Challenges de la Blockchain : . . . . .	35
2.13.1	Sécurité et protection des données : . . . . .	35
2.13.2	La gestion des capacités de stockage : . . . . .	36
2.13.3	les défis sociaux : . . . . .	36

2.13.4 Défis de la normalisation : . . . . .	36
2.13.5 Le problème d'interopérabilité : . . . . .	36
2.14 Conclusion : . . . . .	36
<b>3 Utilisation de la blockchain pour la traçabilité des produits alimentaires</b>	<b>38</b>
3.1 Introduction : . . . . .	38
3.2 Blockchain : explication et définition . . . . .	38
3.3 Exemple d'un produit agro-alimentaire : . . . . .	38
3.4 Les bénéfices de la blockchain pour les entreprises agroalimentaires : . . . . .	39
3.4.1 Création d'un climat de confiance auprès du consommateur : . . . . .	39
3.4.2 Pouvoir réagir plus vite en cas de crise alimentaire et réduire les coûts de rappel : . . . . .	39
3.4.3 Se différencier pour être mieux référencé en grande distribution : . . . . .	39
3.5 La blockchain dans le secteur élevage-viande : . . . . .	40
3.6 Exemple de mise en place pratique : . . . . .	40
3.6.1 Le réseau d'acteurs considéré : . . . . .	40
3.6.2 L'outil informatique développé : . . . . .	40
3.6.3 Résultats concernant la communication aux consommateurs : . . . . .	42
3.7 Conclusion : . . . . .	43

# Table des figures

1.1	les flux d'une chaîne logistique [15]	9
1.2	Représentation d'une chaîne logistique [17]	10
1.3	Une chaîne logistique directe [19]	10
1.4	Une chaîne logistique étendue [20]	11
1.5	Une chaîne logistique globale [21]	11
1.6	la pyramide des décisions [24]	13
1.7	Représentation d'une chaîne logistique [30]	15
1.8	les étapes d'une chaîne agricole [39]	19
1.9	les acteurs principales d'une agro-alimentaire	19
1.10	Exemple de traçabilité d'un produit alimentaire [43]	21
2.1	Réseau peer-to-peer	26
2.2	Architecture de la Blockchain	26
2.3	Blocs dans la Blockchain	30
3.1	Répartition des acteurs de la filière impliqués par l'expérimentation	41
3.2	Screenshots de l'application mobile pour le consommateur	42
3.3	Screenshots de l'application mobile pour le consommateur	42

# Introduction Générale :

La révolution la plus importante et la plus innovante qui ait marqué la vie de l'humanité moderne est sans aucun doute l'ordinateur et les programmes informatiques.

Ils proposent des réponses à tous les problèmes de la vie, dans le domaine professionnel comme dans celui des usages personnels. leurs moyens et méthodes de développement ont connu pour leur part autant d'avènements technologiques qui permettent de faciliter leur mise en œuvre et qui leur donnent de plus en plus de possibilités et de fonctionnalités.

Avec le développement de l'informatique et la naissance d'Internet, le phénomène des échanges offre des opportunités importantes et accroît les chances de communiquer via un espace virtuel qui rassemble des sites Internet proposés par des personnes ou des organisations.

Le web permet de partager ses idées et ses domaines d'intérêt avec d'autres utilisateurs partout dans le monde. Ainsi l'Internet est devenu un outil incontournable et même indispensable pour le fonctionnement de bon nombre d'entreprise à travers le monde. Ceci est dû aux innombrables possibilités et opportunités qu'il offre à tout utilisateur.

Un site web est un ensemble de fichiers (page HTML, images, PDF, son, vidéo, programme, animations), et de dossiers, formant son arborescence. La technologie du web est très utile pour l'amélioration des fonctionnalités de la chaîne d'approvisionnement des produits agroalimentaire, notamment dans la traçabilité de ces produits afin de lutter contre la contrefaçon et de protéger la santé humaine.

Les travaux exposés dans ce mémoire consistent en la conception et la réalisation d'un site web pour gérer la traçabilité d'une chaîne d'approvisionnement agro-alimentaire.

Le langage de modélisation qu'on a utilisé est UML (Unifier Modeling Language). Pour l'implémentation, le choix s'est porté sur le langage de programmation PHP. La base de données est implémentée avec MySQL qui est largement compatible avec PHP.

Chapitre **1**

Généralités sur la logistique



## 1.1 Introduction

La mondialisation et la concurrence croissante des pays en développement imposent une adaptation rapide des entreprises afin d'optimiser leurs performances. La survie de ces dernières repose sur leur réactivité et sur leur capacité à s'adapter au changement. Dans ce cadre, la maîtrise de la logistique et de ses domaines d'expertise connexes est apparue comme un facteur clé de la flexibilité des entreprises.

On entend dire que la logistique signifie "avoir le bon produit là où se trouve la demande", et cela est vrai. On dit aussi que la logistique est "avoir le bon outil au bon moment" et cela est également vrai. Il est moins fréquent de dire que la logistique "c'est avoir la bonne information pour la bonne personne au bon moment" et pourtant c'est vrai. Ces diverses expressions traduisent en quelque sorte les résultats concrets que l'on attend d'une "bonne" logistique.

Dans ce qui suit nous définirons en détails c'est quoi la logistique en incluant son historique, sa définition, ses types et son utilisation dans le domaine agro-alimentaire. Nous parlons également sur la traçabilité des chaînes agro-alimentaires.

## 1.2 Les Origines Historiques

le mot logistique vient du grec "**logistikos**" (relatif au raisonnement) ou "**logisteuo**" (administrer), le dictionnaire de l'Académie française a cité que depuis toujours les organismes militaires utilisent ce terme 'logistique' pour décrire une activité qui arrive à combiner deux facteurs essentiels dans la gestion des flux : le temps et l'espace". Remontant un peu dans le temps, nous trouvons que le premier qui a intégré la fonction logistique (logista) au sein de ses légions est Jules César. Cette fonction était représentée par un officier dont la mission était de s'occuper des mouvements de l'armée afin d'organiser le campement et le ravitaillement [1].

### **phase de commencement (1950-1960) :**

les premiers balbutiements de la logistique sont apparus après la démission des logisticiens militaires et donc après la fin de la deuxième guerre mondiale. Ces derniers ont sans doute été tentés de greffer leurs savoirs et leurs connaissances au monde de l'entreprise. Cette phase de préparation a été marquée par : les tâches de reconstruction (pour l'Europe) ou d'aide à la reconstruction (pour les États-Unis), le développement de la recherche opérationnelle et des premières techniques d'optimisation appliquées à la résolution des problèmes de transport et de stockage.

### **Phase de démarrage ( 1970 en France) :**

En phase de démarrage, la logistique était dans un premier temps une recherche de solutions partielles et disjointes ( gestion de stock, production, tournées de livraison, etc ...). Sa quête d'efficacité correspondait à une démarche purement productiviste. Celle-ci visait à réduire les coûts d'exploitation, puis la réduction brutale au nombre de tâches et à améliorer la circulation du flux sans chercher une optimisation globale des processus [2].

### **Phase de croissance (1980-1990) :**

La logistique a changé de nature et s'attache principalement à coordonner les différentes fonctions de l'entreprise qui contribuent à la circulation des flux (achat, conception, production, distribution, service après vente,..etc) en les décloisonnant et, le concept de transversalité a fait son apparition. La quête d'efficacité des procédés logistiques passe par la maîtrise des coûts engendrés par toute type de défaillance, La diminution des stocks, le développement du juste-à-temps dans l'approvisionnement des sites industriels puis des sites de distribution, et les demandes accrues de marchés désignent la logistique service comme la démarche qui stabilise et garantit la continuité des flux. Elle est donc orientée vers le service plus que vers la réduction des coûts[3].

**Phase de maturité (1990-Aujourd'hui) :** Arrivée à maturité, la logistique est désormais favorisée par sa dimension transversale qui lui permet de combiner l'ensemble des ressources internes et externes nécessaires à la réalisation d'une chaîne logistique particulièrement complexe composée de plusieurs intervenants qui sont liés et dépendants les uns des autres. Le principe et le champ d'application de la logistique évoluent au fur et à mesure que le développement industriel progresse. Au cours des années 1950, la logistique ne visait que les fonctions physiques du flux de distribution. Aujourd'hui, elle couvre un champ beaucoup plus large. Une forte collaboration logistique entre les entreprises d'une même chaîne d'approvisionnement est devenue une obligation, car la concurrence ne s'exerce plus entre les entreprises, mais entre les chaînes d'approvisionnement. L'entreprise doit aujourd'hui améliorer la " Qualité " de ses biens et/ou ses services, diminuer ses " Coûts " et être " Performante ". Un bon réseau d'échange d'informations peut considérablement faciliter l'atteinte de ces objectifs. L'échange d'informations entre les divers départements de l'entreprise et les acteurs d'une chaîne d'approvisionnement est un paramètre essentiel. Un système de transactions efficient peut améliorer la qualité du produit et du service, car l'entreprise peut mieux identifier les besoins précis et actualisés des clients et les coûts peuvent être réduits en réduisant le niveau des aléas ( l'incertitude) qui est un paramètre du marché actuel et en prenant en considération les objectifs des autres départements ou des autres partenaires. La maîtrise de l'information à travers toute la chaîne logistique est une activité fondamentale et de plus en plus indispensable pour la logistique actuelle. C'est la raison pour laquelle, en plus des flux physiques, la logistique est intéressée par le flux d'informations entre les différents acteurs [4].

### 1.3 Définition et évolution de la logistique :

Depuis la création du mot logistique en 1836 et sa définition ne cesse pas de s'évoluer, sa première utilisation était dans le domaine militaire où l'Association Américaine de Marketing (AMA) proposa une première définition en 1935, dans Marketing Vocabulary : "**La logistique regroupe les différentes activités réalisées par une entreprise, y compris les activités de service, durant le transfert d'un produit du site de production jusqu'au site de consommation**" [5].

Puis, en 2004 le Council of Supply Chain Management Professionals (CSCMP) devint et proposa une autre définition plus vaste qui prends les approvisionnements et le transport en considération : "**Le processus de planification, d'exécution et de contrôle des procédures de transport et de stockage des biens (et des services) efficace et efficient, et des informations associées, du point d'origine au point de consommation dans le but de répondre aux besoins du client**"[6].

Il s'agit d'une activité systémique qui vise à gérer les flux physiques de l'entreprise en mettant ses ressources internes et externes à disposition aux exigences et aux conditions économiques pour une qualité de biens et/ou service déterminée. La logistique représente donc une technologie de la maîtrise de flux :

- matières premières, composantes, sous-composantes..
- les transferts entre les unités de production
- l'envoi aux clients.

La fonction logistique au sein de l'entreprise doit assurer au moindre coût une bonne qualité des produits/services, une synchronisation entre l'offre et la demande et de la qualité des rapports client/fournisseur.

## 1.4 Les types de la logistique :

Selon leurs objectifs et leurs méthodes utilisées on revanche plusieurs types de systèmes logistiques :

**Une logistique d'approvisionnement générale :** qui permet d'apporter à l'entreprise ce qui est nécessaire ( services/produits ) pour assurer la continuité de ses activités par ex : fournitures de bureau pour l'administration.

**Une logistique d'approvisionnement :** qui permet d'apporter la matière première, les composants, les sous composants nécessaires à la production.

**Une logistique de distribution :** celle qui permet d'amener les produits dont le consommateur a besoin.

**Une logistique militaire :** qui permet de transporter tous ce qui indispensable pour leurs opérations.

**Une logistique de soutien :** consiste à organiser tous ce qui est nécessaire pour la maintenance des systèmes, née dans le domaine militaire mais appliquée à d'autres domaine ; l'industrie, l'aéronautique..etc

**Service après vente :** assez similaire de la logistique de soutien, vise à exercé des activités de maintenance par des spécialistes différents du fabricant et de consommateur, dite Third party maintenance .

**Rétro-logistique :** ou encore "la logistique des retours", celle qui sert à récupérer les produits dont le client n'a pas besoin ou qui doivent être réparés : les rebuts industriels, les emballages, les produits inexploitable,..etc [7].

## 1.5 les flux dans la logistique :

la logistique dans une entreprise est beaucoup plus compliquée et ne se résume pas au simple routage des produits. Elle englobe en fait les flux matériels et les flux d'informations la logistique dans une entreprise est beaucoup plus compliquée et ne se résume pas au simple routage des produits. Elle englobe en fait les flux matériels et les flux d'informations.

### 1.5.1 les flux matériels :

Nous pouvons différencier deux axes matériels au niveau de la logistique :

**l'aspect technique :** Il comprend des activités telles que :

les déplacements de marchandises, l'entreposage, la manutention, le packaging, et la distribution aux fournisseurs ou aux utilisateurs.

Il prend notamment en considération l'utilisation de moyens de transport, la disposition des espaces, la gestion des retours, la sécurité des marchandises, etc.

**l'aspect fonctionnel :** Il fait jouer un rôle important : il s'agit d'optimiser le circuit des flux de produits afin d'assurer : la bonne qualité des biens, la rapidité de la distribution, et la réduction des coûts.

### 1.5.2 les flux d'informations :

Afin que les flux matériels deviennent réalisables, la logistique d'une entreprise doit être parcourue par des flux d'informations, ces flux sont primordiaux car ils permettent de lancer des commandes, de recevoir des produits et de renseigner à tout moment sur l'état des stocks. Les flux d'information sont pilotés par des logiciels adéquats qui garantissent la transmission des données. Ils garantissent aussi une bonne circulation entre les différents acteurs de la chaîne logistique. Ils participent à la prévision des besoins pour une meilleure rentabilité [8].

## 1.6 Le rôle de la logistique :

Au sein d'une entreprise, la logistique a une importance particulière. Premièrement, parce qu'elle est indispensable lorsque son organisation est basée sur des flux matériels. Deuxièmement, parce qu'elle fait partie intégrante de la chaîne de production. Enfin, parce que la logistique est également une fonction, dans le sens où elle est à la fois transversale et concerne tous les départements. Le rôle de la logistique dans une entreprise est donc fondamental, car il concerne tous les départements et agit sur la performance globale de l'organisation. Trente ans en arrière la fonction logistique était encore considérée comme secondaire. Mais aujourd'hui, comme elle a un effet sur la production, les stocks, la distribution et les finances, elle est devenue au cœur des enjeux de l'entreprise [9]. Elle a pour but :

a. La gestion économique de la production, en réalisant des économies à tous les niveaux : au niveau d'achats, elle permet de comparer les prix des produits et les matières premières, au niveau de stock, supprimer les réptures couteuses en limitant les espaces nécessaires au stockage, et au niveau de distribution en trouvant des solutions au meilleur prix et sans influencer la qualité .

b. Satisfaction des clients, la logistique dans une entreprise vise à fournir des produits/services spécifiques à des clients ciblés. Un produit de bonne qualité, en stock, arrivant en bon état et dans les délais les plus courts, c'est la garantie de satisfaire le client, mais surtout de le fidéliser.

c. Contrôler et améliorer la qualité qui relie le producteur au récepteur pour arriver à un service "zéro défaut" [10].

Le rôle de la logistique dans une entreprise est aussi concurrentiel. Le "temps" est un facteur de comparaison entre les différents prestataires et donc de satisfaction pour les destinataires finaux. De fait, une meilleure organisation entre les services intervenant rend possible la poursuite d'un objectif commun : délivrer au plus vite, dans des meilleures conditions, afin de satisfaire les clients.

## 1.7 Périmètre de la fonction logistique :

Grâce à sa nature polyvalente, la logistique peut toucher des fonctions comme :

### **En amont :**

- La concordance entre les nécessités et la production ;
- La structuration de la production de matières premières ;
- Le management du panel de prestataires et la gestion optimale des achats.

### **Sur le site de fabrication :**

- Analyse de la conformité des constituants de la production ;
- Gestion des niveaux de stock ;
- Optimisation des flux (produits, informations, moyens, matières...);
- Gestion des niveaux de stock ;
- Implémentation de systèmes d'information appropriés.

### **En aval :**

- Gestion du service clientèle ;
- Préparation des commandes ;
- Optimisation des circuits de distribution ;
- Gestion des renvois et du recyclage [11].

## 1.8 les objectifs de la logistique :

Parmi les objectifs de la logistique, on peut citer :

- Répondre à la demande des flux matériels qui doivent être en accord avec les flux informationnels associés
- Coordonner avec d'autres services pour la mobilisation des ressources (humaines/budgétaires) afin d'y parvenir
- Réaliser la production déclenchée par le département du marketing/ventes et se trouve donc au centre du processus de commercialisation [12].

## 1.9 Les enjeux de la logistique dans l'entreprise :

**a. Gestion des coûts :** Diminuer les itinéraires en déterminant et en organisant les tournées, limiter les renvois à vide, bien choisir les fournisseurs, utilisation de la stratégie logistique collaborative (Cross-doc King), etc.

**b. Organisation des flux :** Il s'agit de bien maîtriser les flux documentaires, planifier les activités physique et d'organiser la circulation des flux à travers le réseau de distribution.

**c. La multiplicité des modes de transport :** l'utilisation de divers modes de transport en fonction de taille et de la nature des colis, afin de mieux choisir les emballages et de s'assurer que les moyens de manutention nécessaires sont disponibles à chaque point de transbordement.

**d. La maîtrise des risques liés au routage :** Il est indispensable de bien protéger la marchandise transportée, diminuer le plus possible le nombre de casses des charges et de respecter les normes de transport. Une moindre manipulation implique moins de risques et des frais d'assurance réduits.

**e. La conformité aux cahiers de charges des clients :** les produits doivent être délivrés en quantité et en format demandés, dans le délai fixé. Il est donc nécessaire de mettre en place de bonnes pratiques : moins de casse des marchandises, une gestion en amont de quelques démarches administratives, et accélération des durées de transbordement.

## 1.10 les contraintes de la logistique :

- **Contraintes techniques :** Ce sont des contraintes qui tiennent aux limites des ressources logistiques. Il convient de bien dimensionner les infrastructures (par exemple, le stockage), celles-ci ne doivent être ni de trop petite taille ni de trop grande.
- **Contraintes réglementaires :** Elles sont en rapport avec les conséquences des productions sur notre environnement : émission de gaz polluant l'air, dépôt de rebuts, etc. Les exigences documentaires relatives au type d'expédition et à la nature des produits à commercialiser (licences, certificats..). les règles applicables en cas de conflit.
- **Contraintes liées au marché :** Ils se reflètent dans la variation de la demande en cours d'année, qui peut amener à réviser les plans de production ; le traitement des renvois (défauts de fabrication, erreurs de commande, etc.) qui engendrent de nouveaux engagements.
- **Contraintes géographiques :** le climat et l'environnement socioculturel peuvent entraîner une reconsidération de certains choix effectués par le logisticien[13].

## 1.11 les missions d'un logisticien :

- chargé d'organiser le flux des marchandises dans l'entreprise, depuis la réception des matières premières à la livraison des produits finis, en passant par la production ;
- Optimisation des flux, d'entreposage, d'acheminement et de manutention ;
- Traitement de commandes, il gère les dépôts de stockage et assure la disponibilité des matières premières par rapport au planning de production ;
- Il s'occupe de l'expédition des produits finis ;
- C'est à lui qu'il appartient de repérer les dysfonctionnements pendant la production en série et de proposer des solutions efficaces au moindre coût ;
- Choix des fournisseurs : le logisticien de la répartition contracte en général un accord commercial avec ces prestataires qui se chargent ensuite ;
- Mettre en place des stratégies de logistique collaborative ;
- la planification, la confirmation et le lancement des opérations avec les intervenants logistiques, en leur transmettant un ordre de travail.

## 1.12 La chaîne logistique :

### 1.12.1 notion de la chaîne logistique :

La tendance habituelle du monde industriel, jusqu'au milieu des années 1970, consistait à " booster " la production pour submerger le marché, car la demande était plus forte que la quantité offerte. Dans la majorité des entreprises, les responsables commerciaux cherchaient à diminuer les coûts de leurs activités, sans prendre en considération les conséquences de ces choix sur leurs déroulement global. Vers la fin des années 1970, le regroupement de plusieurs entreprises sur le même secteur du marché a provoqué une augmentation de l'offre et une intensification de la concurrence entre elles. Il est donc devenu essentiel de tenir compte dans les problématiques liées à l'organisation industrielle, non pas seulement les contraintes de production, mais aussi celles liées à l'approvisionnement, à la diffusion, etc. Le but est de mettre en place une organisation mondiale homogène, pouvant être adaptée très rapidement à la demande du consommateur final. Le concept de chaîne logistique est ainsi né. Plus conceptuellement, une chaîne logistique fait référence à la totalité des opérations et des circuits intervenant dans la réalisation et la distribution d'un produit, de sa fabrication à son expédition au destinataire final. À chaque point de la chaîne, on trouve des prestataires ayant une fonction bien déterminée. Elle est parcourue par différents flux : les flux physiques, les flux d'information et les flux financiers.

**flux physiques :** Ces flux se rapportent à toutes les entités matérielles qui parcourent la chaîne de distribution, plus particulièrement les flux de matières brutes, encours et produits finis. Ces débits passent de l'amont vers l'aval. D'autres flux physiques peuvent également circuler de l'amont vers l'aval et également de l'aval vers l'amont, comme les conteneurs, les packagings, les palettes et les produits renvoyés.

**Flux d'information :** il est constitué par les données échangées entre les différents intervenants de la chaîne. Ces dernières portent sur le fonctionnement du système, les niveaux de stocks et d'en-cours, ou sur la demande des clients. Ces flux sont susceptibles de s'effectuer dans les deux sens.

**flux financières :** sont des flux mesurables (monétaires) liés aux flux physiques. Ils traversent la chaîne en allant de l'aval vers l'amont. Quelques flux financiers pourront aussi circuler de l'amont vers l'aval comme les reversements [14].

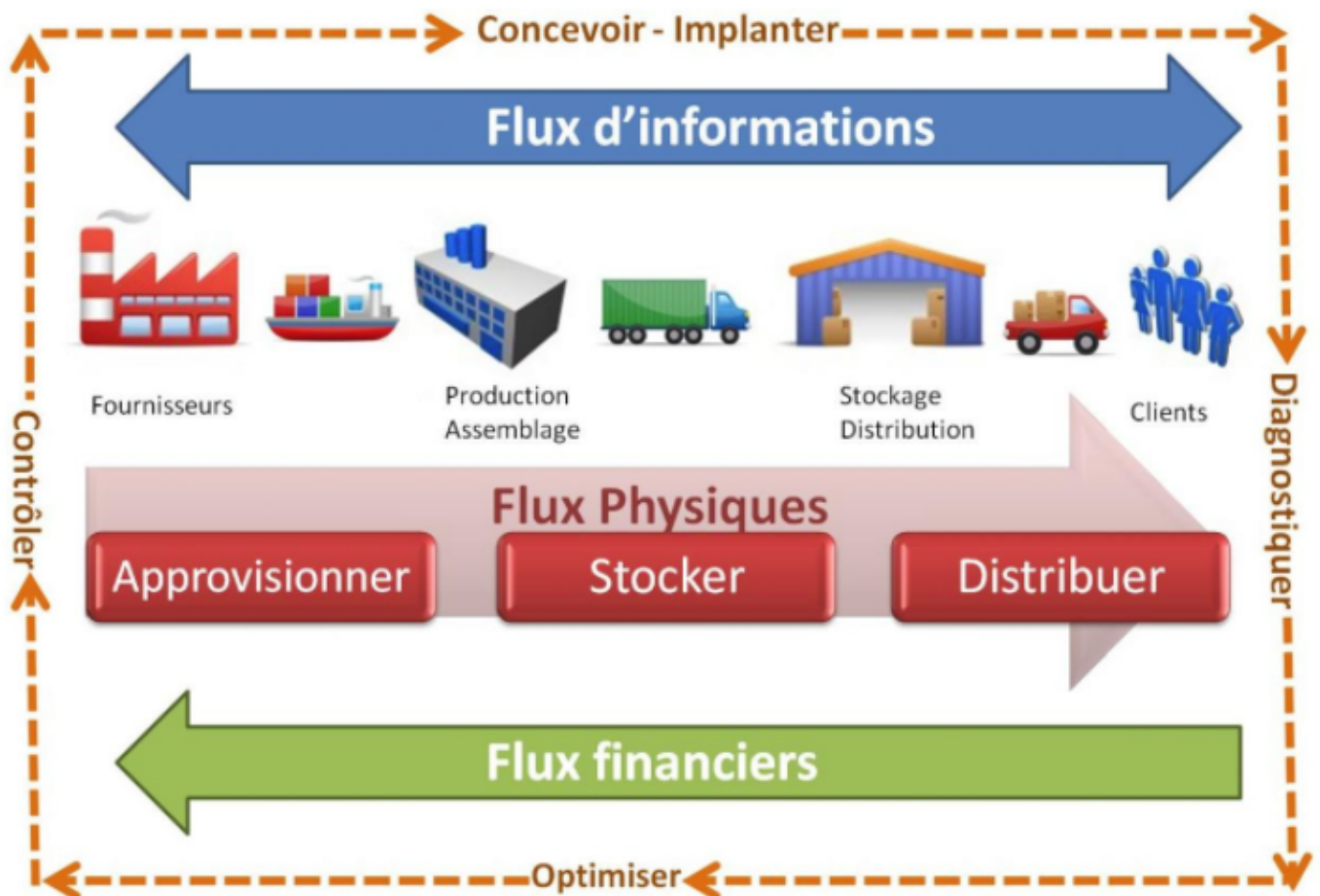


FIGURE 1.1 – les flux d'une chaîne logistique [15]

### 1.13 Définition de la chaîne logistique :

La notion de "chaîne logistique" découle du terme anglais **Supply Chain** qui désigne littéralement la "chaîne d'approvisionnement". Il y a plusieurs définitions semblables ont été données pour définir la chaîne d'approvisionnement :

**Définition 1 :** [Supply Chain Council SCC] a défini la chaîne logistique en 1997 : "elle regroupe tous les acteurs participant à la production et à la livraison d'un produit fini ou d'un service, depuis le fournisseur du fournisseur jusqu'au client du client, ces acteurs sont les prestataires, les fabricants, les diffuseurs et les utilisateurs".

**Définition 2 :** [Taymûr et al. 1999] définissent une chaîne logistique comme un réseau de sous-fournisseurs, de fabricants, de distributeurs, de commerçants et de clients entre lesquels les échanges de matières vont des fournisseurs vers les clients et les flux d'informations dans les deux directions.

**Définition 3 :** [Génin 2003] définit la chaîne logistique comme étant un réseau de structures ou de fonctions réparties sur de multiples sites, géographiquement dispersés, qui collaborent pour réduire les coûts et augmenter la vitesse des procédés et des opérations entre les fournisseurs et les consommateurs [16].

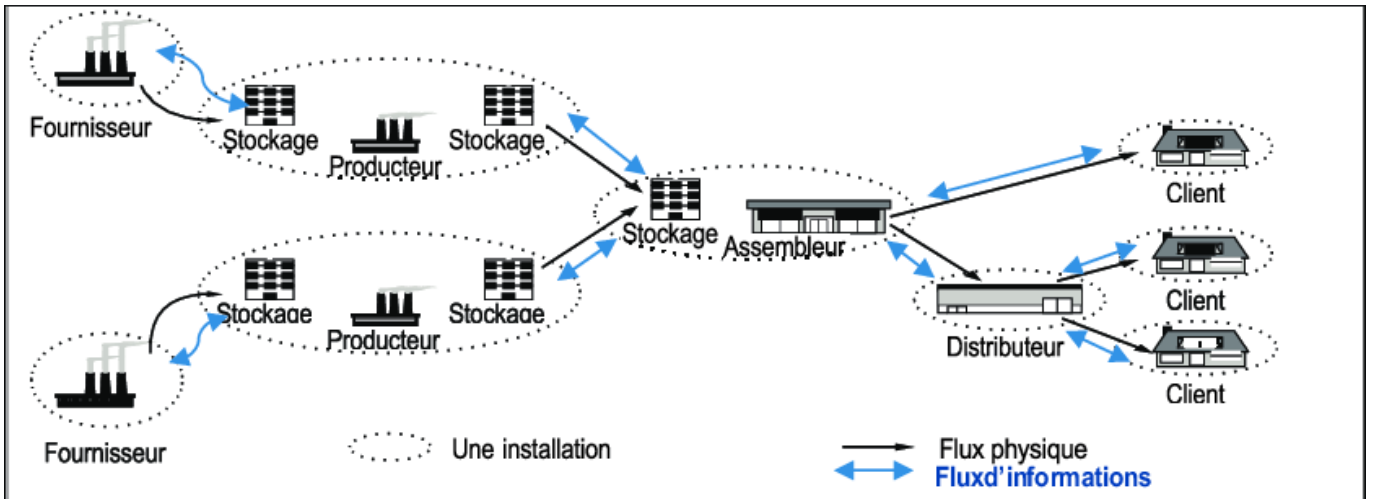


FIGURE 1.2 – Représentation d'une chaîne logistique [17]

## 1.14 les acteurs de la chaîne logistique :

Toute organisation qui intervient dans le routage des flux du point de départ jusqu'à sa destination dans de bonnes conditions est dite un maillon ou un acteur de la chaîne logistique. Dans toute structure de chaîne logistique, les organisations occupent des rôles précis : fournisseurs, producteurs, prestataires de services, détaillants ou client final. Le nombre de ces organisations détermine la structure et la nature de la chaîne d'approvisionnement considérée [18]. Conformément à une chaîne d'approvisionnement peut avoir trois formes :

### 1.14.1 Une chaîne logistique directe (CLD) :

Un CLD est constitué d'un fournisseur et d'un client qui interviennent dans le flux de produits, de services, de financements et/ou de données vers l'amont et/ou l'aval.

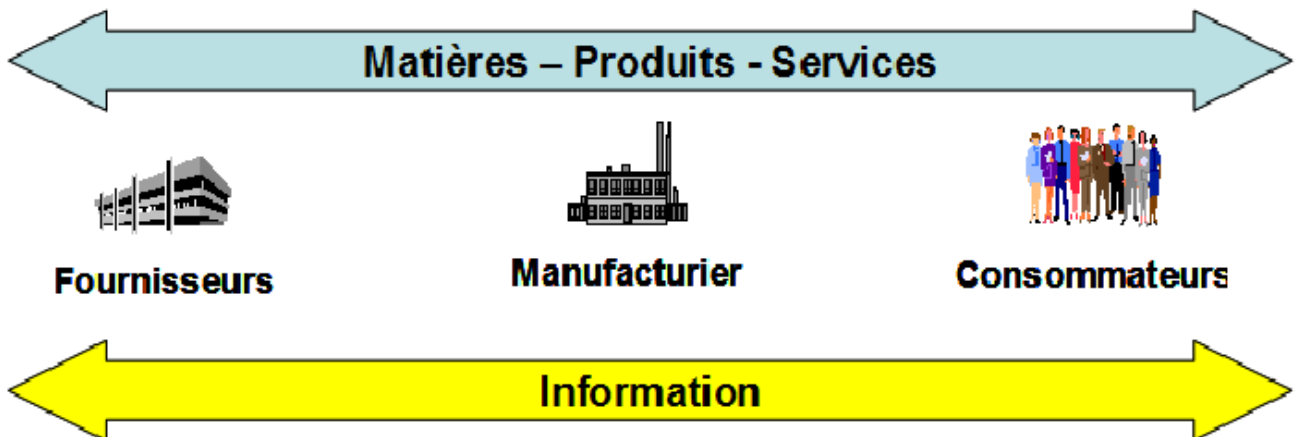


FIGURE 1.3 – Une chaîne logistique directe [19]

### 1.14.2 Une chaîne logistique étendue (CLE) :

elle intègre les fournisseurs du fournisseur direct et les clients du client direct, qui sont tous concernés par les flux amont et/ou aval de produits, services, finances et/ou informations.



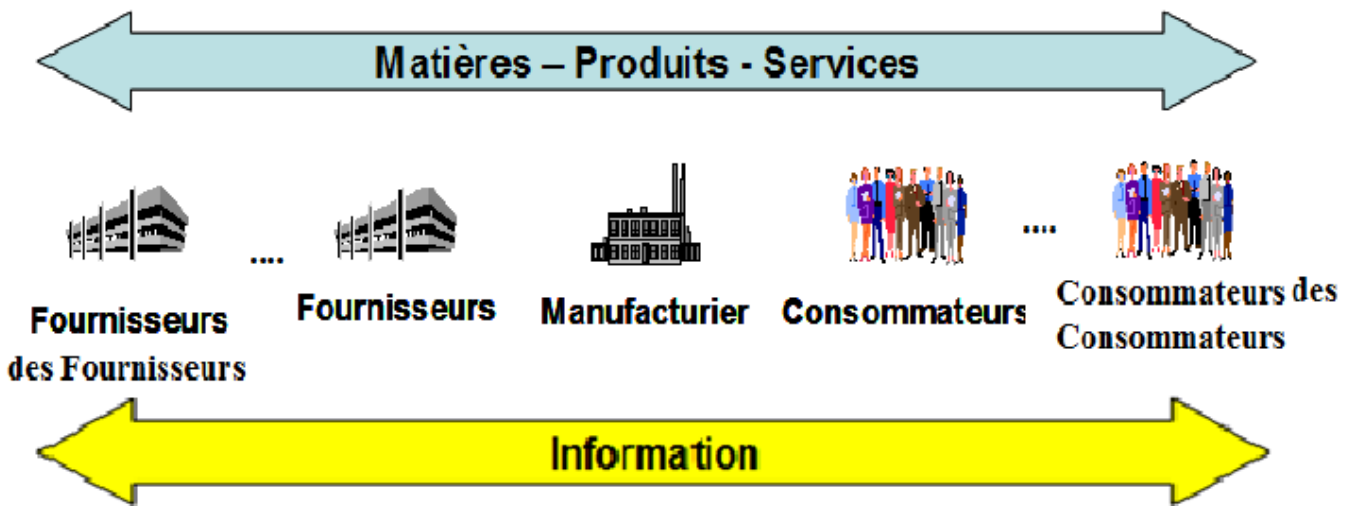


FIGURE 1.4 – Une chaîne logistique étendue [20]

### 1.14.3 Une chaîne logistique globale (CLG) :

Ce type de maillage est très complexe à étudier car il intègre l'ensemble des organisations qui participent à la chaîne d'approvisionnement. Cette complexité résulte d'une part du nombre de mailles présentes et d'autre part à la diversité des liens existants.

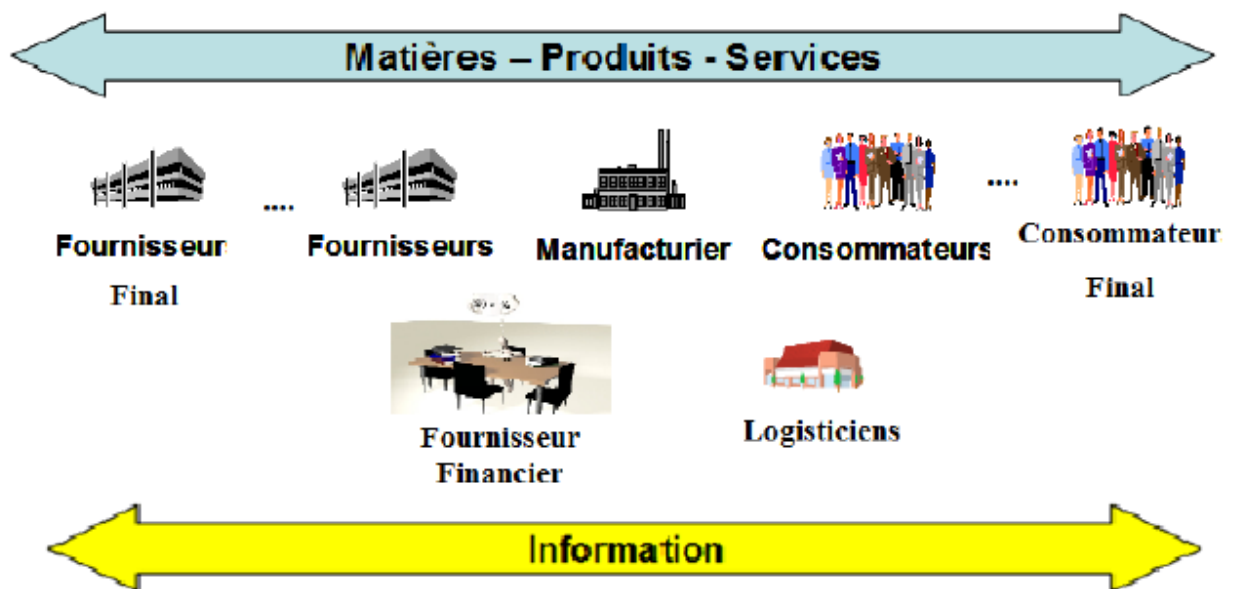


FIGURE 1.5 – Une chaîne logistique globale [21]

## 1.15 Structure des chaînes logistiques :

On distingue dans la documentation scientifique un certain nombre de classifications habituelles, sur lesquelles se basent les modèles existants. Ces structures sont : en série, dyadiques, divergentes, convergentes et en réseau [22].

**a. La structure série :** Cette structure correspond à un procédé de production vertical et horizontal. On peut utiliser cette structure, par exemple, pour examiner les effets de la diffusion de données sur toute la chaîne.

**b. La structure dyadique :** On peut considérer qu'elle s'agit de la particularité d'un LC en série, qui se limite à 2 niveaux. Elle peut servir de base à l'étude des relations clients-fournisseurs ou donneurs d'ordre-sous-traitants.

**c. La structure divergente :** Ce modèle de distribution peut représenter un réseau dans lequel la matière commence à partir d'un point précis et est distribuée tout au long de la chaîne.

**d. La structure convergente :** Elle permet de représenter un processus d'assemblage. Dans un enchaînement convergent, la matière qui circule entre les différents sites converge vers le même site qui est, en toute logique, le site d'assemblage terminal.

**e. La structure réseau :** Elle constitue une coordination des deux structures précédentes. Elle nous permet de prendre en compte à la fois l'approvisionnement et la distribution, mais elle peut également être beaucoup plus compliquée du fait du grand nombre des acteurs concernés, notamment dans le cas de produits complexes. [Selon François, 2007], "la topologie d'une chaîne logistique est généralement de type "réseau"". De fait, une structure uniquement convergente se traduit par une absence de réseau de distribution des produits. De la même manière, une structure entièrement divergente est peu probable, puisqu'elle impliquerait que le produit fini ne provienne que d'un seul amont. Certains CL sont ainsi très vastes, en particulier pour les produits compliqués, une entreprise peut se trouver en contact avec de nombreux fournisseurs, pour les gros réseaux, le classement des acteurs de la chaîne est effectué en deux catégories :

**Les acteurs majeurs :** Acteurs industriels majeurs participant à la fabrication du produit.

**Les acteurs auxiliaires :** consultant, banque, partenaire de recherche,..etc [23].

## 1.16 les différents niveaux de décision sur la chaîne logistique :

La prise de décision est réalisée par un acteur qui sélectionne entre différentes solutions pouvant résoudre le problème, ou la situation, à laquelle il est soumis. Pour concevoir une supply chain, il est nécessaire de mettre en place un ensemble de décisions. Cet ensemble de peut être étudié à trois niveaux : les décisions stratégiques, les décisions tactiques, et décisions opérationnelles. Le schéma suivant illustre un tel diagramme. Cette hiérarchie est fondée sur la temporalité des opérations et la rapidité des décisions.

### 1.16.1 Le niveau stratégique :

Cette phase, aussi appelée gestion stratégique ou planification stratégique, englobe toutes les décisions stratégiques de l'entreprise. par Thomas et Griffin (1996), englobe toutes les décisions stratégiques de l'entreprise qui sont prises par la Direction Générale, correspondent à des orientations à long terme ( 6 mois à quelques années). Telles que, par exemple, le choix de nouveaux collaborateurs industriels, la recherche de fournisseurs et de sous-traitants, mais

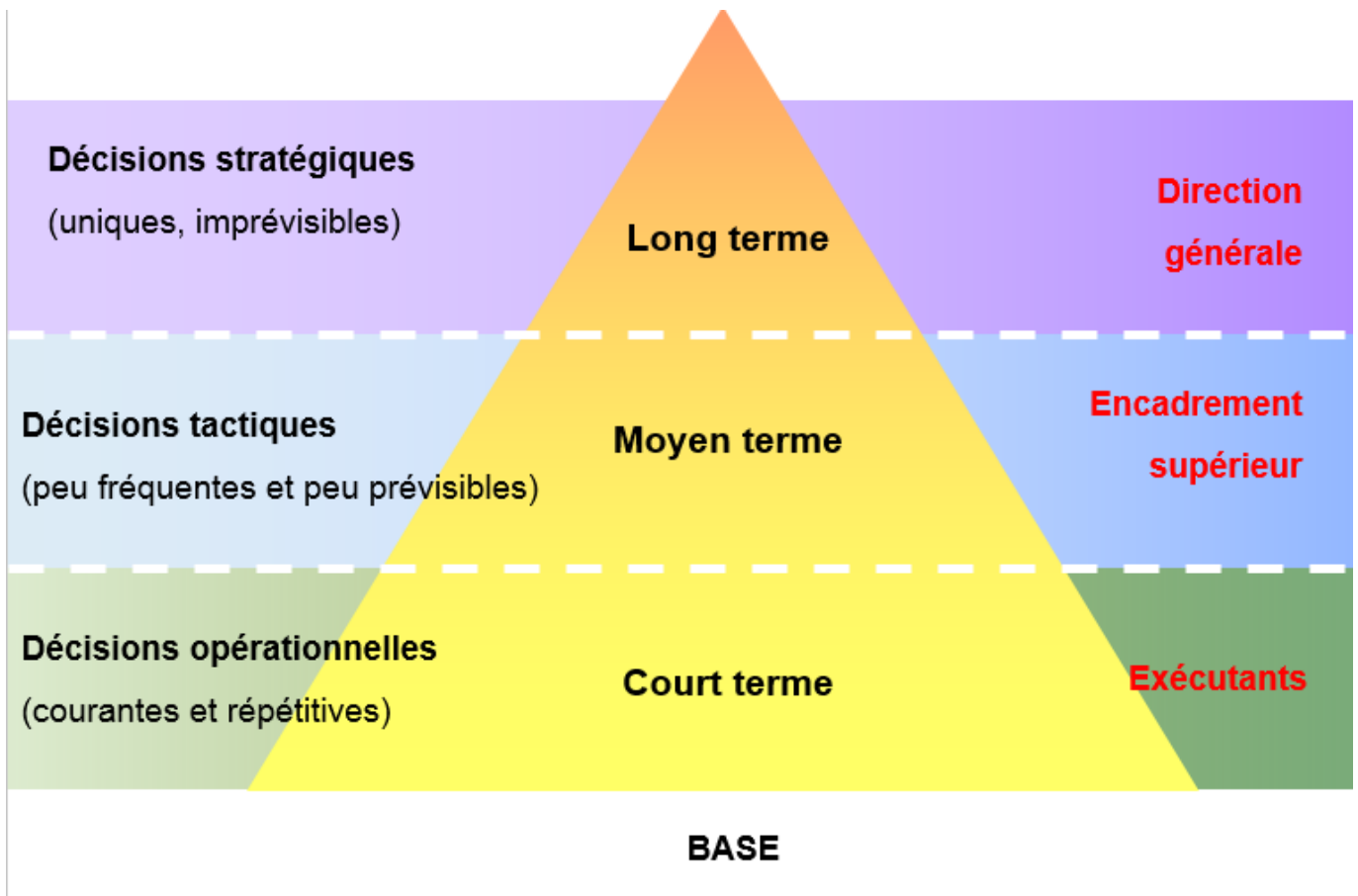


FIGURE 1.6 – la pyramide des décisions [24]

également les décisions relatives à l'ouverture ou à la fermeture de certains lieux de production ou de les réinstaller, la conception d'un nouveau produit, la configuration de l'usine, son fonctionnement et son maintenance, de même que la fixation des objectifs financiers à atteindre [25].

### 1.16.2 Le niveau tactique :

Ce niveau est concerné par les décisions à moyen et long terme ( quelques semaines à quelques mois) qui vont être mises en œuvre pour dérouler la stratégie définie par l'entreprise. A ce niveau, les décisions sont prises par les chefs de production et les responsables d'atelier. Elles traitent des problèmes relatifs à la gestion des moyens de l'entreprise, notamment le planning des activités sur ces moyens [26].

### 1.16.3 Le niveau opérationnel :

Au niveau opérationnel, les décisions ont un champ d'application plus réduit dans le temps et l'espace (décisions quotidiennes ou hebdomadaires). Elles sont donc prises par les dirigeants des équipes et parfois par les exploitants de la production. les décisions tactiques donnent lieu à un programme de production précis et détaillé qui s'applique au niveau d'un atelier, ou même d'un poste de travail. La complexité du problème d'optimisation des décisions explique que ces trois types de décisions sont abordés de manière successive et hiérarchique. Cependant, il est essentiel de tenir compte de les conséquences des décisions stratégiques sur les niveaux tactique et opérationnel. Elles déterminent en effet des solutions autorisées pour les niveaux tactique et opérationnel. Plus précisément, la solution idéale d'une décision tactique ou

opérationnelle est en fonction de la solution prise au niveau stratégique. De même, les décisions opérationnelles et tactiques sont de nature à influencer la prise de décision au niveau stratégique [27].

## 1.17 Les processus de la chaîne logistique :

Le concept de processus désigne un ensemble de tâches qui définit les fonctions et les liens, et qui structure l'organisation et la stratégie d'une entreprise pour réaliser certains de ses objectifs [28]. Voici les cinq principaux processus d'une entreprise :

**Le processus Approvisionnement** : se focalise sur la mise à disposition de tous les constituants exigés pour la fabrication. On distingue ici deux phases importantes. La première consiste à choisir les fournisseurs de l'entreprise. La deuxième phase du processus d'approvisionnement est de passer des ordres de pièces à ces fournisseurs suivant la production à exécuter.

**Le processus de production** : regroupe toutes les opérations de transformation que les composants doivent subir pour donner naissance aux produits finis. Son objectif est de fournir les produits demandés tout en garantissant la rentabilité du système.

**Le processus de distribution** : correspond à la mise à disposition des produits finis aux utilisateurs, organisation et sélection des moyens de transport, détermination du nombre de ces moyens, ainsi que la localisation des entrepôts et leur gestion.

**Le processus de vente** : réalisée par le département commercial, élabore les contacts avec le consommateur, par conséquent, vise à obtenir une meilleure connaissance du marché. Cette procédure est aussi chargée de déterminer les prévisions de la demande et de prendre en compte certains aspects du commerce tels que la longévité du produit pour mieux comprendre comment évoluer les ventes. Des aspects liés au marketing (étude de marché, promotion, annonces, ...) sont aussi gérés dans ce processus.

**Le processus de traitement des retours** : Un processus nouveau dans le système qui prend en considération toutes les activités permettant de traiter le renvoi du produit par les consommateurs ou par un autre maillon du système.

## 1.18 La gestion de la chaîne logistique (SCM) :

Dans un milieu logistique particulièrement compliqué, le besoin d'un outil pour comprendre et représenter la complexité et pour fournir une aide à la décision est en train de naître. En effet, les outils traditionnels de gestion de la production, de planification et de pilotage des entreprises deviennent alors insuffisants parce qu'ils sont dépassés par les nouvelles exigences et la restructuration des entreprises en réseaux. De fait, cette émergence de la chaîne logistique a fait apparaître des nécessités au niveau de l'intégration des entreprises et au niveau de la coordination des flux matériels, des flux d'information et des flux financiers à des échelles encore jamais atteintes. La gestion de la supply chain regroupe les démarches, les méthodes et les outils visant à couvrir ces différents besoins. En effet, elle a pour objectif de répondre au trio d'objectifs que sont le renforcement du niveau de service, la diminution des coûts et la valorisation, à travers la gestion en amont et en aval des relations avec les fournisseurs et les clients [29].

### 1.18.1 Définition de la gestion de la chaîne logistique :

Depuis sa création, le concept de gestion de la chaîne logistique a connu une évolution de sa définition et des dizaines de définitions différentes ont été recensées à ce jour. Quelques définitions considèrent la GCL comme un assemblage de processus. Ainsi, en 1982, Oliver R.K

et Weber M.D, précisent que la GCL englobe le flux des produits du producteur à celui de l'utilisateur final en passant par les chaînes de production et de distribution.

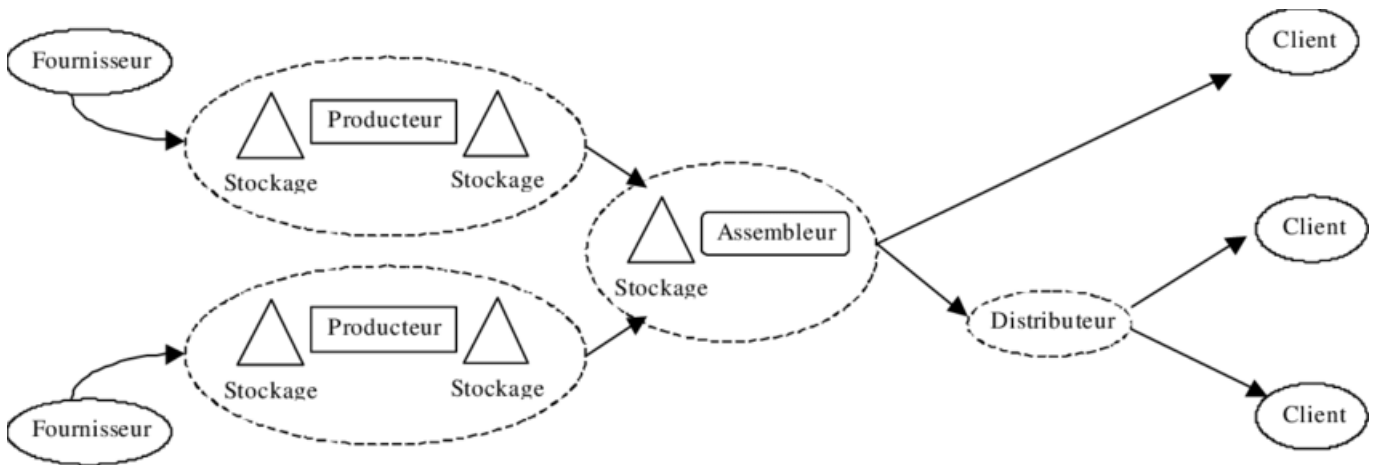


FIGURE 1.7 – Représentation d'une chaîne logistique [30]

Les ouvrages disponibles donnent de nombreuses définitions du concept de management de la chaîne logistique (SCM). Le Supply Chain Council propose la définition suivante de la GCA : " le contrôle de la gestion des achats et des commandes, l'approvisionnement en matières premières et en composants, la fabrication et l'assemblage des produits, la gestion de l'entreposage et du stockage, l'enregistrement et la direction des commandes, la distribution à travers le réseau d'entreprises et la livraison des produits finis aux clients " [Lummus et Vokurka, 1999]. En gros, la GCA comprend la mise en œuvre de la gestion de la demande et de l'offre dans l'entreprise et entre elles. Mentzer et Alii, ont défini la GCA comme "la coordination systémique et stratégique des fonctions commerciales traditionnelles et de leurs tactiques respectives au sein d'une même entreprise et entre les partenaires de la chaîne d'approvisionnement, dans le but d'améliorer la performance à long terme de chaque entreprise membre de la chaîne dans son ensemble". Selon une autre définition, la GCL est la conception et la gestion d'un procédé inter-organisationnel en continu qui apporte une valeur ajoutée, en vue de satisfaire les véritables besoins des consommateurs cibles [Lambert et al, 1998]. Le challenge que représente la GCL est donc d'optimiser le déroulement de la chaîne d'approvisionnement, cette optimisation devant être comprise au sens d'une augmentation des profits nets pour chaque entreprise partenaire. Selon une autre définition, la GCL est la conception et la gestion d'un procédé inter-organisationnel en continu qui apporte une valeur ajoutée, en vue de satisfaire les véritables besoins des consommateurs cibles [Lambert et al, 1998]. Le challenge que représente la GCL est donc d'optimiser le déroulement de la chaîne d'approvisionnement, cette optimisation devant être comprise au sens d'une augmentation des profits nets pour chaque entreprise partenaire. Pour cela, il faut mettre un pilote général qui permette de coordonner les différentes opérations commerciales des entreprises partenaires. Ce pilote oriente le processus en commun (qui est l'objectif pour lequel la chaîne d'approvisionnement a été construite) qui permet de générer de la valeur. Ce processus est composé de nombreux processus "individuels" (ou privés) qui appartiennent à au moins deux des partenaires de la chaîne logistique globale. Le procédé partagé facilite donc les échanges de données entre ces partenaires et représente donc un soutien opérationnel au partage de l'information dans la chaîne d'approvisionnement [31].

### 1.18.2 les différents enjeux de la SCM :

Les défis de la supply chain ont pris une telle importance que plusieurs organisations ont été mises en place pour répondre à cette nécessité : responsable de la supply chain, manager

de flux, gestionnaire du supply chain, etc ... Les défis de la supply chain ont pris une telle importance que plusieurs organisations ont été mises en place pour répondre à cette nécessité : responsable de la supply chain, manager de flux ou supply chain manager, gestionnaire du supply chain development, etc. Peu de fonctions ont fait leur apparition au cours des années 80 au niveau de l'entreprise mais aussi au niveau du Comité de Direction. Ces fonctions ont la caractéristique d'évoluer continuellement pour s'adapter aux nouveaux équilibres auxquels le pilotage opérationnel et la supply chain doivent faire face. Il était donc nécessaire de posséder des responsables opérationnels pour être en mesure de faire face à la gestion d'unités opérationnelles de plus en plus grandes. Mais il faut aussi avoir des compétences en systèmes d'information et en management de projet. Les enjeux liés à une bonne maîtrise de la Supply Chain sont de trois natures :

- Une participation directe à la constitution d'avantages compétitifs ;
- Un support à la réalisation de la stratégie de l'entreprise ;
- Une diminution du Capital investi dans les activités logistiques.

### **1.18.3 Les tâches dédiées au service SCM :**

Les avis des experts sont très variés. Nous trouvons donc de manière méthodique les activités relatives à la logistique : la gestion des inventaires, les entrepôts, le transport, la diffusion, importation/exportation et optimisation de la supply chain [32].

#### **la gestion des inventaires :**

Un stock est un ensemble de réserves qui permet de répondre à la demande provenant de la clientèle, on parlera alors du stock de produits finis, ou bien de la production, on parlera de stocks de matières premières et d'articles consommables, de la maintenance et donc de stock de pièce de rechange ou du service après-vente.

#### **le transport :**

La logistique du transport est notamment la gestion de la mobilité des biens. Les aspects essentiels de cette chaîne de transport de biens comprennent les activités de déplacement local, régional et mondial en fonction des différents modes de transport : routier, ferroviaire, maritime, aérien et multimodal.

#### **la diffusion :**

Le terme " diffusion " désigne l'ensemble des opérations destinées à offrir un bien ou un service au client ou à l'utilisateur final, à travers la chaîne d'approvisionnement. Ce fonctionnement suit celui de la production ou de l'importation du bien ou du service, depuis sa commercialisation par le producteur, le fabricant ou l'importateur jusqu'au moment de sa transmission au consommateur ou à l'utilisateur final.

#### **importation/exportation :**

Le service import-export est là pour pouvoir faire appliquer les normes douanières spécifiques à chaque pays destinataire. Le service import-export est là pour pouvoir faire appliquer les normes douanières spécifiques à chaque pays destinataire. Le Service import/export aidera le service des approvisionnements dans le cadre du choix des partenaires commerciaux ( transporteurs, expéditeurs, etc.), du mode de transport et des incoterms les plus adaptés à une demande déterminée.

## optimisation de la supply chain :

Nous constatons que toutes les opérations se suivent et se complètent le long de la chaîne logistique. Pour les entreprises, il est essentiel d'optimiser chacune de ces opérations, mais encore plus d'optimiser ses totalité, c'est-à-dire la chaîne logistique. Effectivement, le service de gestion de la chaîne logistique a comme fonction de gérer les flux tout au long de cette chaîne [33].

### 1.19 Les objectifs visés de la SCM :

La chaîne d'approvisionnement a pour objectifs :

Le management de la chaîne logistique a pour but d'optimiser et de rassembler les flux physiques et d'information de manière globale.

La gestion de la chaîne logistique englobe les fonctions suivantes (prévision, planification et réalisation), de l'acquisition des matières de base à la distribution des Produits finis aux consommateurs.

La prise en compte de la gestion de la chaîne d'approvisionnement offre une meilleure diffusion de l'information entre fournisseurs et clients.

La gestion de la chaîne logistique permet de limiter les stocks.

elle permet notamment de préciser les prévisionnels de matières afin de mieux tenir compte des nécessités du terrain, de réorganiser le plan de fabrication en fonction de la quantité demandée et de respecter les délais de livraison aux clients.

la SCM garantit une bonne correspondance entre l'offre et la demande.

La gestion de la chaîne d'approvisionnement fait en sorte que l'entreprise puisse produire au moindre coût tout en réduisant les stocks [34].

### 1.20 Logistique agroalimentaire :

On peut définir la logistique agroalimentaire comme la mise en pratique des techniques traditionnelles de logistique dans le domaine des flux de produits venant des exploitations agricoles, de la pêche, de l'élevage ou de la sylviculture.

#### 1.20.1 Les caractéristiques de la logistique agroalimentaire :

Le secteur de la transformation agro-industrielle comprend le prélèvement des matières premières, leur transformation, leur préservation. Cela nous conduit à distinguer les caractéristiques principales suivantes :

**Segment de transport :** On distingue trois segments. le premier segment est celui du transport des matières premières ( depuis le lieu de leur extraction jusqu'au lieu de leur transformation). Le second segment est lié au processus de traitement des matières premières. Enfin, le troisième segment englobe les opérations de distribution.

**la nature des produits :** Ce sont essentiellement des produits frais, à durée de vie limitée. Dans toute la chaîne d'approvisionnement, ils nécessitent l'utilisation de certains moyens particuliers ( Entrepôts à température régulée, conteneurs, des équipements particuliers pour le personnel, des endroits de stockage contrôlés avec soin, l'utilisation de méthodes de gestion spécifiques et de technologies avancées pour respecter les exigences des délais de péremption.

**les controles requis :** Vu les risques sanitaires extrêmement élevés, plusieurs postes de surveillance sont implantés le long de la chaîne logistique pour vérifier que les opérations de stockage et de transport sont réalisées conformément aux normes de sécurité, température et

hygiène. Que la qualité des produits est bien maintenue à un niveau suffisant ; et finalement, que les diverses normes concernant la manutention de ces produits sont respectées rigoureusement ( transformation, état sanitaire, étiquetage, etc,..)

### **1.20.2 Enjeux et défis de la logistique agroalimentaire :**

#### **planification et contrôle de stock :**

Les dépôts de produits alimentaires où circulent les aliments sensibles à la température devraient être en mesure de gérer efficacement les contraintes de transport et de stockage typiques des produits à courte durée. Les entreprises qui ne possèdent pas de systèmes de gestion des entrepôts appropriés se retrouvent souvent avec des délais de vente plus courts, des clients insatisfaits et le risque de perdre des produits endommagés ou abîmés qui doivent être retirés des rayons. Les distributeurs de produits agroalimentaires qui utilisent un système de gestion des entrepôts intelligent et très performant ont la capacité de gérer et de superviser les stocks en temps réel. Grâce à l'enregistrement des changements de stocks en vue de prévoir les nécessités, ce genre de solutions automatiques permet de planifier et de réaliser plus aisément les opérations logistiques, de l'entrée des produits dans l'entrepôt à leur sortie.

#### **amélioration de la traçabilité et de la sécurité des produits alimentaires :**

De nos jours, la sécurité des aliments apparaissant au cœur des inquiétudes exprimées par les consommateurs, il est indispensable pour les entreprises alimentaires de consolider leurs pratiques de traçabilité au cours de leurs processus logistiques. Toutefois, les ingrédients et les différents produits finis faisant généralement l'objet de consignes de stockage et de manipulation précises, la traçabilité et la sécurité des aliments deviennent un vrai problème. Les acteurs de la logistique ne doivent pas perdre de vue des principes fondamentaux comme le FIFO (First In First Out), le taux d'humidité et la température de stockage.

#### **Stock keeping units (SKUs) vs. capacité de stockage :**

Les clients exigent de plus en plus de choix, de produits plus sains et même de matériaux de packaging et de tailles. Pour satisfaire leurs besoins, les fabricants de produits agroalimentaires élargissent rapidement leurs gammes de produits, ce qui a entraîné une hausse de la quantité en stock pour stocker et transporter des produits, les entrepôts ont besoin de s'assurer qu'ils ont une capacité suffisante et ils doivent augmenter leurs performances. Les sites de fabrication et de consommation sont souvent distants les uns des autres pour différentes raisons. La production de produits agricoles est fonction de la disponibilité de l'eau, du sol et du climat. Ceci traduit le fait que pour certains produits, la production ne peut avoir lieu que dans des zones géographiques déterminées. Le savoir-faire et les connaissances dans la transformation sont souvent détenus par des industries qui se localiseront, soit au lieu où se situent les matières premières, soit dans le lieu de consommation, ou dans une position intermédiaires. dans tous les cas, il existe des flux physiques de produits à maîtriser en amont (approvisionnement) et en aval (distribution) [35].

## **1.21 Les limites de la logistique agro-alimentaire :**

**La qualité des produits :** Il faut la garantir sur toute la chaîne d'approvisionnement. Cela signifie une conformité absolue avec les normes et les procédures.

**Les équipements :** En raison de leur périssabilité, les produits requièrent des équipements particuliers pour leur stockage et leur transport.



**la durée de vie :** Ces produits ont très souvent une durée de conservation après laquelle toute consommation est interdite. Tout retard ou ralentissement dans sa distribution diminue le temps accordé pour leur consommation [36].

## 1.22 La chaîne d’approvisionnement agroalimentaire :

Le terme agriculture est un terme global, qui désigne les différents usages des plantes, des récoltes et des animaux domestiques qui répondent aux besoins de la société en lui fournissant de la nourriture, e la bio-énergie..etc. Le secteur comprend une large gamme d’activités comme la domestication, l’horticulture, l’arboriculture et la culture maraîchère [37]. Dans ce cadre, distinguons les quatre grands domaines de valorisation industrielle de la production agricole non transformée, qui entrent en concurrence pour intéresser les agriculteurs : l’alimentation humaine, l’alimentation animale, la production de biomasse et les matériaux industriels.

Le secteur agricole est aujourd’hui sous une double pression : il doit d’une part être géré de façon à satisfaire les besoins actuels sans mettre en danger les capacités des agriculteurs de demain. Dautre part, il doit fournir des moyens de production alimentaire, énergétique et industrielle afin de satisfaire les demandes de la population mondiale croissante [38].

Par conséquent, il n’est pas étonnant que, au cours des deux dernières décennies, ce secteur a suscité beaucoup d’intérêt chez les professionnels et la communauté scientifique. De manière plus précise, la chaine agro-alimentaire a pour but de gérer et de planifier la totalité des procédés et des opérations, de la préparation de la terre et de la récolte à la commercialisation et/ou à la transformation des produits récoltés. La coordination et l’organisation entre les maillons de la chaîne touche à la fois la gestion et la maîtrise des flux de matières premières et d’informations, la logistique, mais aussi les dispositifs mis en place pour instaurer et encadrer les relations entre les différents acteurs concernés : fournisseurs, producteurs, diffuseurs et commerçants.

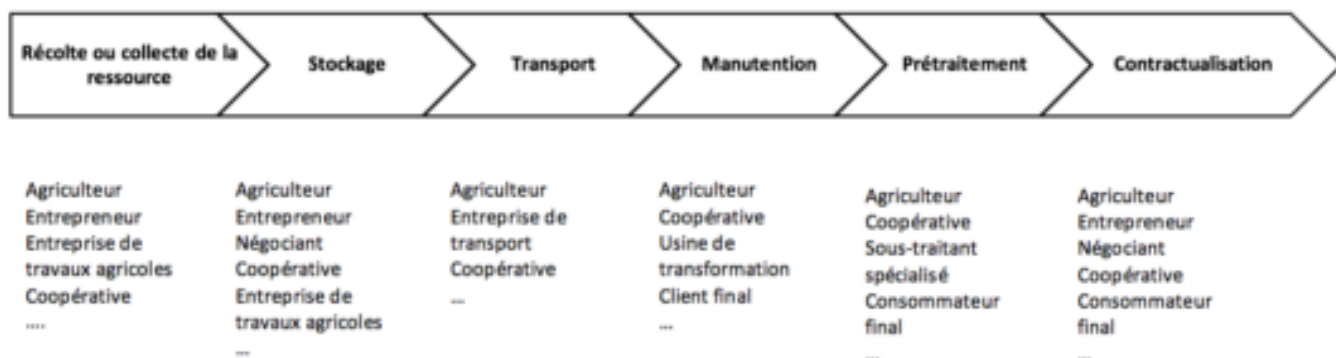


FIGURE 1.8 – les étapes d’une chaîne agricole [39]



FIGURE 1.9 – les acteurs principales d’une agro-alimentaire

En amont, les approvisionnements en matières premières agricoles sont quantitativement et qualitativement soumis aux facteurs climatiques, notamment aux inégalités inter-régionales concernant le climat, à la nature des terres, aux pratiques agricoles et à différents

facteurs de saison, des maladies des plantes, insectes nuisibles, etc. En aval, les marchés des produits agricoles représentent un marché bien particulier, caractérisé par son hétérogénéité, son instabilité et sa réactivité aux aléas (prix, qualité, etc.), qui se caractérise par une certaine instabilité structurelle, une montée de la financiarisation et de nouveaux modes de réglementation. Compte tenu de la nature et de la complexité des questions et des problèmes à traiter en matière de gestion agricole, c'est principalement la recherche opérationnelle qui permet de mettre en place des méthodologies et des outils adéquats pour la gestion quantitative des opérations et pour faciliter la prise de décision [40].

en comblant l'écart entre la théorie et la pratique industrielle. De plus, la simulation apparaît comme une méthodologie efficace, comme l'attestent Woodward et al en se penchant sur la modernisation et l'innovation dans l'organisation des systèmes agricoles. Dans cette optique, de nombreuses recherches et études ont été réalisées pour orienter, optimiser et éventuellement réorganiser la gestion des CAG, tout en gérant les aspects liés à leurs environnements hétérogènes [41].

## **1.23 Traçabilité agroalimentaire :**

### **1.23.1 Définition de la traçabilité :**

La traçabilité est l'enregistrement, le stockage et le transfert d'informations relatives au chemin parcouru par le produit ( depuis sa production, et même sa conception, jusqu'à sa commercialisation) et ce qui s'y passe. Elaborer un système de traçabilité, cela signifie dresser une cartographie de l'itinéraire suivi, mettre au point des instruments d'enregistrement...

Il existe cependant un premier principe, qui est commun à tous les systèmes de traçabilité, qui consiste à établir une association entre un flux d'informations (transfert de données) et un flux physique de produits (transport de marchandises). Le deuxième principe est celui d'éviter, dans toute la mesure du possible, les ruptures d'information au cours de la chaîne agroalimentaire.

### **1.23.2 Traçabilité de l'origine et traçabilité des processus :**

De nos jours, dans le vocabulaire quotidien, le lien entre Traçabilité et Origine est toujours présent : on associe spontanément la traçabilité à la notion d'identité et à la généalogie. Mais pour comprendre en quoi consiste un système de traçabilité moderne, il faut distinguer deux types de traçabilité : la traçabilité de l'origine et la traçabilité des processus. Par ailleurs, la traçabilité de l'origine est le concept le plus ancien. En effet, au début du 20ème siècle, en France, a été le premier pays à établir un système officiel de certification des produits à Appellation d'Origine Contrôlée (A.O.C.) qui, par le biais de la traçabilité, associe origine et identité. La caractéristique visée dans ce type de traçabilité est, comme son nom l'indique, celle de l'origine du produit et, par élargissement, il peut s'agir également de l'identité du producteur, du lieu précis de la parcelle de production ou du type d'alimentation.

La traçabilité consiste à conserver les données relatives à l'origine ou à l'identité géographique du produit, et à permettre de retracer son parcours dans le temps et dans l'espace en préservant cette information lors du transport. Elle est appelée " remontante ", parce qu'elle fait remonter à l'origine du produit ( comme on remonte un arbre généalogique pour retrouver les ascendants).

Elle sert à mettre en évidence le caractère authentique d'un produit et à assurer que ce caractère authentique n'est pas modifié.

La traçabilité des processus est bien plus récente et elle se situe dans une optique totalement différente. Elle est extrêmement complexe, parce qu'elle se base sur le fait que, tout

le long de la chaîne agro-alimentaire, un produit connaît des transformations successives ou peut avoir des utilisations diverses et nombreuses...

### 1.23.3 Traçabilité des produit agro-alimentaire sur la chaine d'approvisionnement :

Le concept de traçabilité des produits agroalimentaires est la mise en application à la chaîne alimentaire des différents principes de traçabilité, dans le but de réaliser une série d'objectifs en matière de sécurité alimentaire.

Elle a pour but de favoriser une amélioration de la qualification et une meilleure maîtrise des produits mis sur le marché, ainsi qu'une diminution des niveaux de risque. De fait, la traçabilité est indispensable pour pouvoir remonter à la source d'un problème de contamination alimentaire ou de falsification.

De plus en plus, les certifications l'imposent.

Elle se faisait surtout au sein de l'entreprise afin de la sécuriser en termes de responsabilité, elle est de plus en plus souvent réalisée au niveau de la chaîne logistique et de la production, en donnant toujours plus d'importance à l'échange de données entre les partenaires commerciaux et de la ferme à la fourchette [42].

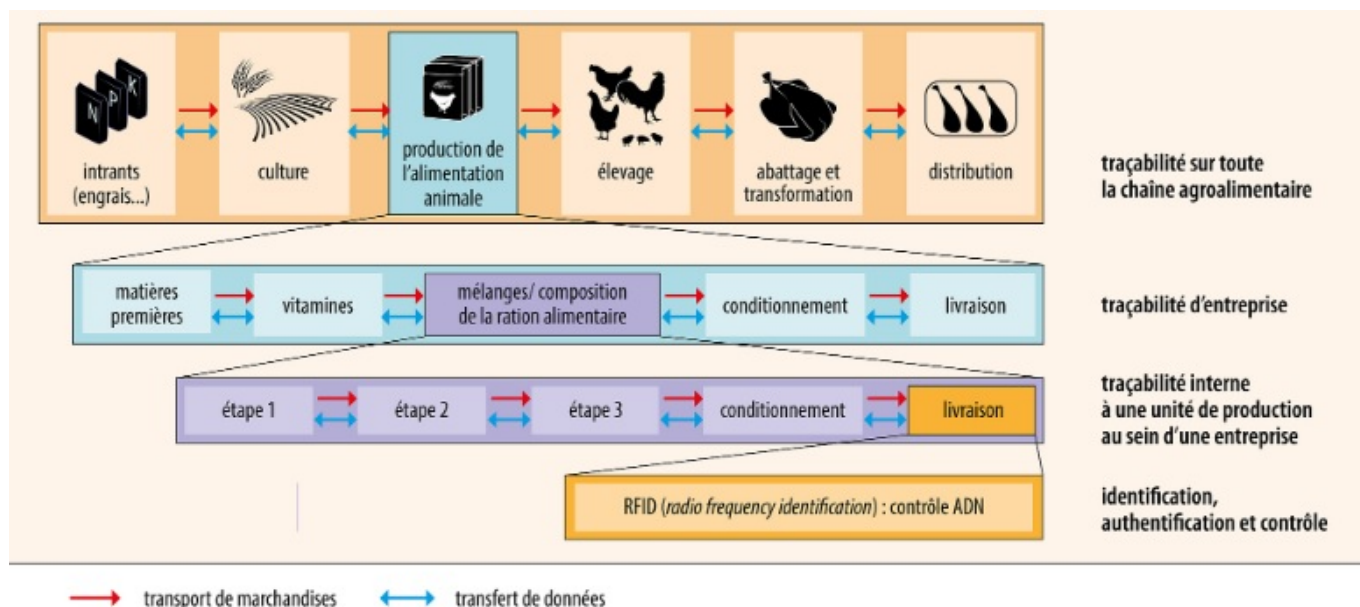


FIGURE 1.10 – Exemple de traçabilité d'un produit alimentaire [43]

## 1.24 Conclusion :

La logistique est une discipline relativement nouvelle dans l'industrie agro-alimentaire. Le secteur des approvisionnements ne correspond toutefois qu'à une petite partie du travail à accomplir. En outre, il est clair que les chaînes logistiques agro-alimentaire doivent dépasser le niveau de l'intendance pour s'engager dans une refonte radicale afin d'intégrer les logiques d'optimisation des flux, de réduction de coût et de gestion des risques.

Ce chapitre est dédié à la logistique, on s'est intéressé particulièrement à la chaîne agro-alimentaire mais aussi à la traçabilité et aux différents systèmes de traçabilité. On a pu présenter les acteurs de la chaîne d'approvisionnement des produits agro-alimentaires. tout en citant le rôle et l'importance de chaque acteur.

Chapitre **2**

État de l'art de la blockchain

## 2.1 Introduction :

Une personne inconnue se présentant sous le pseudonyme de "Satoshi Nakamoto" écrivait le 31 octobre 2008 un message sur une liste de courrier électronique privée réservée aux cypherpunks.

**"Je travaille sur un nouveau système de monnaie électronique entièrement en peer-to-peer, sans tiers de confiance"**. Ce message est accompagné par un lien vers le site **Bitcoin.org**, qui contient le livre blanc de Bitcoin, résumant le mode de fonctionnement de ce nouveau protocole. La première notion de Blockchain a été mise en application le 03 janvier 2009 dans le contexte du Bitcoin. Dans le présent chapitre, la technologie Blockchain est présentée et expliquée avec ses principales caractéristiques et ses concepts associés.

## 2.2 Notion de la Blockchain :

Une blockchain est une base de données distribuée (grand livre) qui tient un compte des données transactionnelles permanentes et non falsifiables liées par une chaîne (chaîne de blocs). Une chaîne de blocs constitue un système entièrement décentralisé fondé sur un réseau pair-à-pair. Chaque élément du réseau garde un exemplaire du grand livre pour éviter tout point d'échec. Tous les exemplaires sont actualisés et vérifiés simultanément. Bien que l'objectif premier de la création de la blockchain soit de résoudre le problème des multiples crypto-monnaies (monnaie virtuelle). Cette technologie peut être utilisée dans plusieurs domaines d'application et comme un moyen sûr d'échanger des informations. Le registre est constitué de plusieurs blocs. chaque bloc est composé de deux parties. Une première partie qui représente le corps du bloc. Elle comprend les transactions. Ces derniers sont parfois des échanges monétaires, des informations médicales, des informations industrielles La seconde partie constitue l'en-tête du bloc. Elle contient des renseignements sur le bloc tels que l'horodatage, le hachage des transactions, etc. ainsi que le hachage du bloc précédent. Les différents blocs existants constituent une chaîne de blocs liés et organisés. Plus la chaîne est longue, plus elle est difficilement falsifiable. De fait, si un usager vicieux veut modifier ou échanger une transaction sur un bloc, (1) il est obligé de toucher à tous les blocs suivants, car ils sont liés par leurs hachages. (2) Il devra ensuite changer la version de la chaîne de blocs stockée par tous les objets participants. Une chaîne de blocs fait suite à un réseau P2P. Elle est essentiellement une structure multi-réseau, composée de cryptographie, algorithmes et expressions mathématiques. Les six principaux éléments qui caractérisent la technologie Blockchain sont les suivants : décentralisée, transparent, sécurisé et immuable, autonome, open source et anonyme. Comme indiqué ci-dessus :

**décentralisée** : Le système de blockchain est un système de base de données décentralisée avec un accès ouvert à toutes les personnes connectées au réseau. Les données peuvent être accessibles, surveillées, enregistrées et mises à jour sur plusieurs systèmes.

**distribuées** : hébergés par chaque intervenant ; il n'y a donc pas une seule autorité pouvant valider les transactions ou encore définir des règles précises pour les opérations à valider. La confiance est donc très importante, puisque tous les participants devront atteindre un consensus pour accepter les transactions.

**transparente** : Il s'agit de son principal avantage. Tous les intervenants ont accès aux blocs et voir les transactions enregistrées dans ceux-ci. La transparence des données enregistrées et stockées aux utilisateurs, elles peuvent être aisément mises à jour. Cela ne veut pas dire que tous peuvent voir le contenu réel des transactions, qui sont protégés par une clé privée.

**le consensus** : la blockchain représente un historique des transactions qui fait l'unanimité. Le consensus sur le séquençage des transactions permet de résoudre le fameux problème du " double-spending ". Un Bitcoin consommé dans une transaction ne pourra pas

être dépensé une seconde fois dans une autre transaction .La seconde transaction est rejetée automatiquement par le réseau.

**sécurisé :** La base de données ne peut être qu'étendue et les registres précédents sont impossibles à modifier.

**Immuables :** une fois enregistrées, elles deviennent réservées pour toujours et ne peut être aisément modifiée sans un contrôle concret de plus de 51

**Autonome :** ce qui veut dire que chacun des nœuds du système blockchain puisse avoir accès, transmettre, enregistrer et mettre à jour des données de manière sécurisée, ce qui la rend sûre et libre de toute influence externe.

**Open source :** Le principe de la technologie blockchain consiste à fournir à toutes les personnes connectées au réseau un accès libre et gratuit. Cette versatilité unique permet à toute personne de vérifier les enregistrements de manière publique, mais également de développer différentes applications imminentes.

**Anonyme :** Quand les données sont transmises entre les noeuds, la personne reste anonyme, ce qui rend le système plus fiable. Il existe deux types d'objets participants dans la blockchain : (1) des objets qui peuvent uniquement lire les facts (mode passif), et (2) des objets qui peuvent lire et écrire des facts (mode actif) appelés mineurs. Afin de rajouter un nouveau bloc à la blockchain, il faut suivre les étapes suivantes : - une transaction est regroupée avec d'autres transactions dans un bloc ; - les mineurs vérifient quel est transactions du bloc respectent les règles définies. - les mineurs exécutent un mécanisme de consensus pour valider le bloc ajouté. - une récompense est donnée aux mineur/mineurs qui valident le bloc. - les transactions vérifiées sont stockées dans la blockchain. Afin de prouver la validation honnête d'un bloc, il existe de nombreux mécanismes de validation. Les plus utilisés sont le mécanisme de Preuve de travail (PoW) et le mécanisme de Preuve d'enjeu (PoS).

## 2.3 Mécanismes de vérification des blocs :

### 2.3.1 Preuve de travail :

Dans un tel mécanisme, une quantité de travail doit être effectuée par un mineur, qui correspond généralement à une sorte d'énigme ou de challenge des mathématiques, difficilement calculable mais facilement vérifiable. Le degré de difficulté du challenge est adapté, par la chaîne de blocs, au temps nécessaire à la validation d'un bloc. Un PdT est indispensable pour la confirmation de chaque bloc. Il présente d'une part un avantage : il garantit la protection des transactions et des blocs ; puisque pour pouvoir modifier un bloc, un pirate devra toucher à tous les blocs qui suivent et créer un nouveau PdT pour chacun de ces blocs, et mettre tous les objets à jour avec cette nouvelle version de la chaîne (falsifiée). Ceci demande une puissance de calcul et une énergie considérables. Par ailleurs, le PdT subit certains inconvénients. Ce qui peut entraîner de mauvaises conséquences. Sans compter le fait qu'il utilise beaucoup d'énergie pour résoudre le défi mathématique.

### 2.3.2 Preuve d'enjeu :

Pour résoudre les défauts du PdT , le Preuve d'enjeu a été mis en place. Grâce à ce mécanisme, aucun minage n'est effectué, qui consomme énormément de ressources. Le mineur est appelé forgeur. Il a possibilité de vérifier des blocs suivant la quantité d'argent en sa possession. Autrement dit, plus il dispose de pièces, plus il accroît ses chances de validation.

### 2.3.3 Preuve d'enjeu déléguée (DPoS) :

La différence majeure entre Preuve d'enjeu PoS et DPoS réside dans le fait que le PoS constitue un procédé de démocratie directe, alors que le DPoS est un processus représentatif et démocratique - les intervenants choisissent leurs délégués pour produire et vérifier un bloc. Avec un nombre bien inférieur de nœuds pour valider le bloc, celui-ci peut être validé rapidement, ce qui veut dire que les transactions peuvent être confirmées immédiatement. (Zheng, 2016) et (Kikitamara, 2017)

### 2.3.4 Tolérance pratique aux pannes byzantines :

Ce consensus algorithmique a été mis au point pour résister aux fautes byzantines, comme le comportement aléatoire des nœuds, qui se joignent au réseau et le quittent à tout instant. Cet algorithme présente une technique de reproduction à états pour le traitement des erreurs byzantines. Sur le plan théorique, il utilise un algorithme de reproduction de machine à états avec un message aller-retour simple pour exécuter les opérations de lecture seule et de lecture-écriture. De plus, il utilise un système efficace d'authentification fondé sur les codes de vérification lors du déroulement normal des opérations; le chiffrement à clé publique est uniquement utilisé en cas d'erreurs. (Castro et Liskov, 1999)

## 2.4 Architecture de la Blockchain :

La structure d'un réseau Blockchain décentralisé est un réseau Peer to Peer, ou P2P, désigne un ensemble de machines jouant le rôle de nœuds pour se partager des fichiers entre elles. De ce fait, la blockchain opère sur un réseau réparti de serveurs, appelés nœuds. Ces nœuds de réseau visent à fournir un consensus sur la situation de la blockchain à un instant quelconque, et contiennent une version de la blockchain. La fonction essentielle de la Blockchain consiste en un carnet de transactions sécurisé et publique. Ce carnet sert à enregistrer toutes les opérations effectuées sur le réseau.

## 2.5 Fonctionnement de la Blockchain :

Le plus simple, pour vraiment savoir comment marche une blockchain, consiste à suivre le trajet d'une transaction.

Les différentes phases de ce mécanisme sont les suivantes :

- Une transaction est demandée par un individu;
- La demande est transmise à un réseau P2P public qui se compose de plusieurs nœuds;
- Le système de nœuds confirme la transaction en utilisant des algorithmes de hachage;
- Cette transaction est assemblée avec les autres transactions pour former un bloc de données dans le registre;
- Le bloc de données est alors ajouté à la chaîne de blocs déjà existante, de manière définitive et immuable;
- La transaction se termine avec succès.

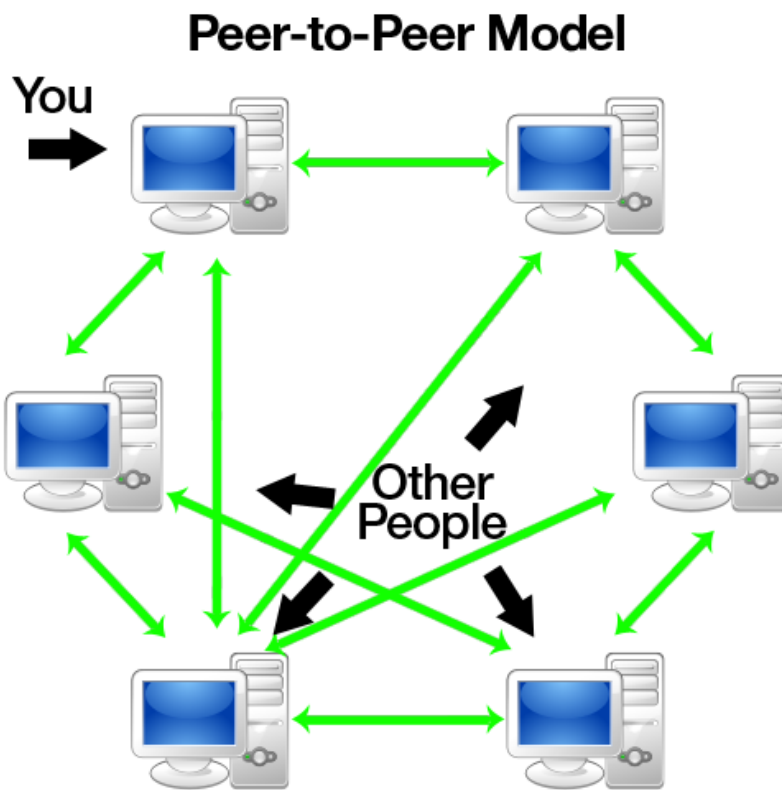


FIGURE 2.1 – Réseau peer-to-peer

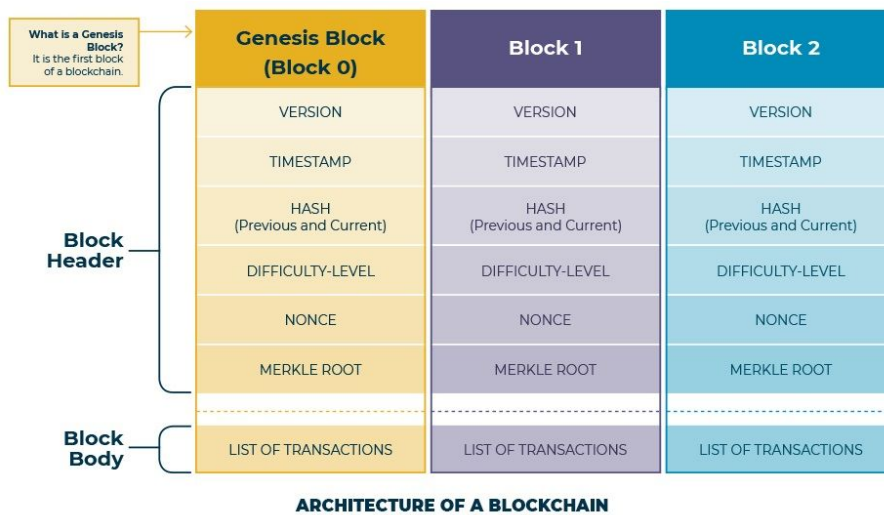


FIGURE 2.2 – Architecture de la Blockchain



## 2.6 Progression de la blockchain :

La blockchain a commencé à évoluer en 2009 avec le concept évolutif de " l'économie de pair à pair " sur Internet, nommé Bitcoin. Il est offert, non pas par une autorité centrale, une banque ou une compagnie comme PayPal, mais grâce à l'accord automatique des utilisateurs du réseau. Sa singularité est dû à la confiance que les utilisateurs n'avaient pas à se faire entre eux. Les algorithmes d'autocontrôle interdisent toute forme de fraude. Du point de vue technique, le bitcoin est une devise digitale traitée sur Internet au sein d'un système décentralisé et sans confiance, qui utilise un grand livre public appelé blockchain. Il réunit le système BitTorrent et la cryptographie à clé publique pour le partage de fichiers en peer-to-peer. Les bénéfices de la blockchain ne sont pas limités à la seule économie de pair à pair. Ils se propagent à la politique, l'environnement, domaine médical, etc.

La technologie blockchain pourrait servir à l'intégration, dans un nuage décentralisé, des fonctions qui devaient être gérées par des organismes légalement responsables, pour combattre les systèmes politiques abusifs.

On peut classer en trois catégories les avantages de la chaîne de blocs : Blockchain 1.0, 2.0 et 3.0.

### 2.6.1 Blockchain 1.0 (Bitcoins) :

Le Bitcoin est une devise électronique. Sa création remonte à 2009 par un anonyme utilisant le nom de Satoshi Nakamoto. Les versements réalisés avec Bitcoin sont inscrits dans un registre ouvert à tous, sauvegardé sur les ordinateurs du réseau Bitcoin. Ce registre peut être consulté en tout temps sur Internet.

Le Bitcoin est la plus connue et la plus utilisée des crypto-monnaies décentralisées. Parmi les autres devises digitales on trouve : Altcoin, Litecoin et Dogecoin. Les usagers ont la possibilité d'envoyer et de réceptionner des bitcoins électroniquement pour des frais de transaction optionnels via un porte-monnaie ( logiciel sur un ordinateur individuel, une application mobile ou une application web). Sur ces transactions, des bitcoins nouveaux sont produits pour récompenser le traitement informatique ( dit minage ), qui est réalisé par l'utilisateur.

### 2.6.2 Blockchain 2.0 (Contrats Intelligents) :

un contrat intelligent est un moyen détourné d'utiliser la blockchain ( ou les transactions en bitcoins) pour établir des accords entre les agents. Un engagement de deux ou plusieurs agents à accomplir (ou à ne pas accomplir) une tâche déterminée en échange de quelque chose d'autre. Les agents sont tenus de faire confiance aux autres agents et de respecter leurs engagements. Le contrat intelligent possède le même genre de règlement pour passer ou ne pas passer à l'action, mais il supprime la dépendance d'un agent envers les autres agents. Un contrat intelligent est un logiciel exécuté sur une blockchain sans aucun discrétion, les contrats intelligents se distinguent par deux caractéristiques : l'auto-applicabilité et la décentralisation. Le caractère auto-applicable veut dire que les agents impliqués dans le smart contract n'ont plus besoin d'être en contact après son lancement. Le terme " décentralisé " indique que les contrats intelligents ne sont pas hébergés sur un seul serveur centralisé. Ils sont répartis et lancés de manière automatique sur le réseau de la blockchain.

### 2.6.3 Ethereum :

Un projet Open-Source construit par des concepteurs partout dans le monde. semblable à celui du protocole Bitcoin, mais plus adaptable et plus souple, dans la mesure où il permet aux usagers de créer et d'utiliser les applications décentralisées qui fonctionnent avec

la technologie blockchain sous-jacente. Ethereum a présenté une chaîne de blocs munie d'un code de programmation intégré et complet comme le langage de Turing, ce qui permet à toute personne de créer des contrats intelligents et des applications décentralisées avec des règlements spécifiques. Dans Ethereum, il n'y a pas de limite de taille de bloc comme dans Bitcoin, mais il existe un concept appelé «Gas». Dans Ethereum, tous les calculs programmables, y compris la création de contacts, l'exécution d'opérations et la réalisation d'appels de messages, ont un coût convenu universellement, mesuré en termes de gaz. Au lieu d'une limite de taille de bloc, il existe une limite de gaz (définie par l'expéditeur de la transaction) pour chaque transaction, ce qui signifie que la validation de cette transaction ne doit pas utiliser plus de gaz que la limite mentionnée. Le gaz restant non utilisé à la fin de la transaction est remboursé sur le compte de l'expéditeur. De plus, le temps d'exploitation de blocs dans Ethereum est considérablement réduit à 15 secondes en moyenne par rapport aux 10 minutes de Bitcoin. Cela se fait par la mise en œuvre du protocole GHOST, qui est une politique de sélection de la chaîne principale dans l'arborescence de blocs. Toutefois, ce temps peut être réduit davantage en fonction de la taille des transactions et de la difficulté de calcul liée à la validation d'un bloc.

### **GHOST Protocol :**

Des blocs bien constitués vérifiés par quelques nœuds mais ayant la même hauteur de bloc, causent une fourchette dans la blockchain et seul l'un des blocs est ajouté à la blockchain, écartant l'autre bloc qui deviendra finalement un bloc périmé. En Ethereum, ces blocs périmés sont nommés "oncles". Un protocole GHOST "Greedy Heavyest Observed Suberved" est proposé pour répondre au problème de sécurité limitée et de blocs périmés coincés dans les blockchains à temps de traitement rapide. Dans la situation où nous voulons un délai de bloc bref et une incitation réduite au minimum pour la mise en commun, le protocole GHOST est la solution idéale.

### **Keccak-256 :**

Keccak est une famille de fonctions éponge qui constitue la base de la norme SHA-3 approuvée par l'Institut national de la normalisation et de la technologie. Habituellement, dans les fonctions de hachage primitives, la longueur de la chaîne de hachage en sortie est fixe, quelle que soit la taille de l'entrée. Toutefois, dans le cas d'une construction en éponge, la fonction de hachage mappe l'entrée de longueur variable en sortie de longueur variable. Les fonctions de hachage cryptographiques sont dites sécurisées si leur comportement est proche d'un oracle aléatoire, c'est-à-dire qu'une chaîne de sortie réellement aléatoire est renvoyée pour chaque requête unique. Puisque toutes les fonctions de hachage utilisées fonctionnent sur une mémoire finie, il y a un risque de collision, c'est-à-dire que différentes entrées peuvent donner la même sortie. . Donc, dans la pratique, il est impossible de mettre en œuvre un oracle vraiment aléatoire. Mais les créateurs de Keccak affirment qu'une éponge aléatoire, qui peut être obtenue en appliquant la construction en éponge avec une permutation aléatoire, offre une sécurité proche de celle d'un oracle aléatoire. Ainsi, les éponges aléatoires peuvent remplacer les oracles aléatoires en termes de sécurité. Keccak offre de meilleures performances matérielles et logicielles. Keccak est excellent en performances matérielles et surpasse SHA2 par un ordre de grandeur.

### **Contrats Intelligents**

L'idée à la base du « contrat intelligent » est de changer le comportement de quelque chose, en fonction de l'entrée (données), lorsque certaines conditions sont remplies. Dans le contexte d'un système de grand livre distribué, un contrat intelligent est un morceau de code

qui est stocké à une adresse particulière de la blockchain. L'adresse de stockage est déterminée lors de la création d'un contrat intelligent. Lorsqu'une transaction est envoyée à cette adresse, le code du contrat intelligent est exécuté, ce qui peut entraîner la lecture / l'écriture de données dans le grand livre distribué sur lequel elle est présente. Un contrat intelligent peut prendre des décisions, lire des données et exécuter d'autres contrats.

#### **2.6.4 Blockchain 3.0 (Innovations basées sur les Smart Contracts) :**

En dehors de ce que la blockchain est en train de révolutionner pratiquement toutes les catégories de services financiers ou opérations financières, elle peut aussi offrir des possibilités de réorganisation des secteurs d'activité économique, industrielle et, plus largement, de presque tous les domaines de l'activité humaine. Par exemple, Northern Trust et IBM utilisent les contrats intelligents pour aider à transformer l'administration du capital investissement. Des projets tels que ADEPT d'IBM, Slock.it, Trans Active Grid et Filament réussissent à utiliser les contrats intelligents comme une technologie sous-jacente pour la mise de leurs produits sur le marché.

## **2.7 Concepts et définitions liés à la technologie Blockchain :**

### **2.7.1 P2P (Peer to Peer) :**

désigne tout réseau où les ordinateurs jouent un rôle de nœud pour le partage de fichiers au sein du groupe. Les dispositifs ou ordinateurs qui participent à ce réseau sont dits Peers. Chaque Peer est identique à un autre. De ce fait, il n'y a pas de dispositif central au cœur du réseau.

### **2.7.2 Un bloc :**

Un bloc se compose de la liste des transactions, du dernier état, du numéro de bloc et du degré de difficulté. Si des transactions concurrentes sont présentes sur le réseau (des transactions qui doublent les charges et les frais), seulement une d'entre elles est choisie comme partie du bloc. Les blocs sont ajoutées à intervalles réguliers à la chaîne.

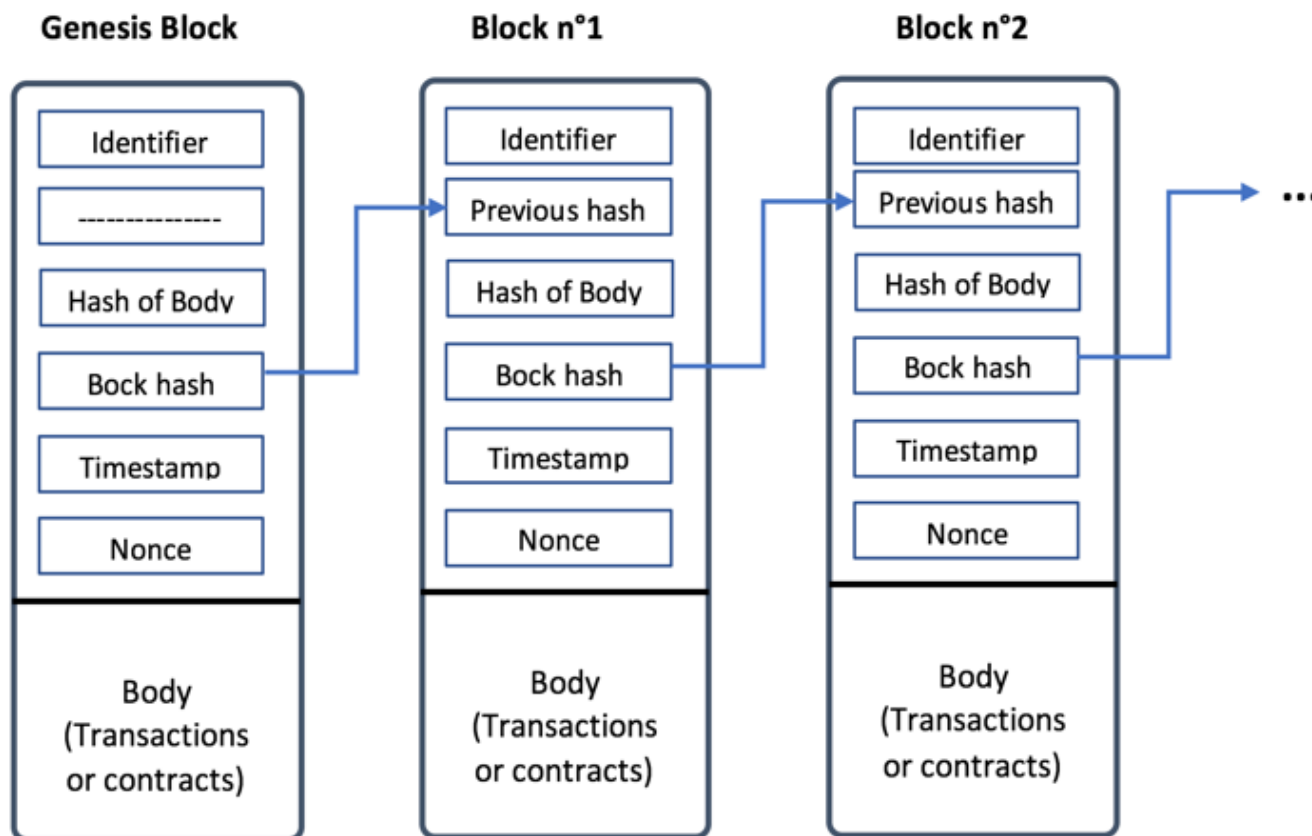


FIGURE 2.3 – Blocs dans la Blockchain

La figure 2.3 illustre les liens entre les blocs de la blockchain. Chaque bloc est connecté au précédent, son parent, par un hash unique. Ces hashes sont créés via un algorithme de hachage SHA256. Autrement dit, le header de chaque bloc comporte une référence au hachage de son parent. Cette liaison se fait jusqu'au premier bloc de la blockchain, appelé genèse. Un bloc peut avoir plusieurs enfants simultanément. Chaque enfant fait référence au hachage du même bloc parent.

### 2.7.3 Hachage :

Est un concept équivalent à une empreinte digitale, il constitue un identifiant exclusif d'une personne. Quand deux objets sont transmis à la Blockchain, ils possèdent des hashes différents. En outre, si vous disposez de l'objet, il vous sera très facile de générer le hash, mais il vous sera presque impossible de faire l'opération inverse. Pour être sûr que l'opération inverse ne puisse pas exister, le résultat est plus court que les entrées et qu'il y a plus de deux entrées qui produisent la même sortie. Ce type d'opération fait qu'il est impossible de réaliser l'opération inverse.

### 2.7.4 Hachage du bloc et sa hauteur :

Il y a deux façons d'identifier un bloc ; Tout d'abord, par son hash. Ce hash est déterminé par les nœuds pairs du réseau chaque fois qu'un bloc est produit. Ce hachage peut être enregistré dans une base de données comprise dans les méta-données des blocs afin d'accélérer leur indexation et leur récupération à partir du disque.

La seconde façon de déterminer un bloc est la hauteur. La hauteur du bloc de

genèse est de 0. Cette façon d'identifier un bloc ne constitue pas une méthode absolue, puisque plusieurs blocs de la chaîne de blocs pourraient avoir la même hauteur.

### **2.7.5 Merkle Tree :**

Est une structure spécifique pour le stockage et la mémorisation des données en basant sur les fonctions de hachage. Elle est structurée sous forme d'arbre binaire ; ses feuilles contenant les données à enregistrer et chaque nœud correspondant au hachage de ses deux enfants. Il fournit des recherches efficaces et une protection contre la falsification, car la vérification d'une transaction est incluse dans l'arborescence. Peut être accompli en envoyant uniquement la transaction, le hachage contenu dans chaque nœud entre le nœud feuille de transaction et la racine, ainsi que les valeurs de hachage utilisées pour créer chaque hachage envoyé. La recherche d'une transaction dans une arborescence Merkle à trois niveaux inclut l'envoi de deux transactions (celle souhaitée et l'autre enfant de son parent) et de trois hachages (le parent de la transaction, la racine et l'autre enfant de la racine).

### **2.7.6 Minage :**

Il désigne la révision du calcul réparti réalisée sur chaque "bloc" de données dans une blockchain. Il permet d'atteindre un consensus dans un milieu dans lequel personne ne se connaît.

### **2.7.7 Mécanisme de consensus :**

Le consensus constitue une problématique essentielle des systèmes décentralisés qui demande à deux ou plusieurs agents de trouver un accord sur une certaine valeur requise à des fins de calcul. Il se peut que quelques-uns de ces agents ne soient pas fiables, de sorte que le processus de consensus soit dépendant. Par conséquent, la nécessité des mécanismes de consensus est de permettre la mise à jour sécurisée d'un processus ou d'un état, conformément à certaines règles de transition d'état, où un ensemble réparti a le pouvoir de réaliser les transitions d'état.

## **2.8 Types de la Blockchain :**

La chaîne de blocs peut exister "avec autorisation" (privée) ou "sans autorisation" (publique). La première impose des limites aux collaborateurs du consensus. Seulement les personnes de confiance et choisis qui peuvent valider les transactions. Cela ne demande pas une grande capacité de calcul pour arriver à un consensus, ce qui le rend économique en temps de réalisation.

Les transactions sont généralement confidentielles et uniquement ouvertes aux objets autorisés. La deuxième catégorie (blockchain publique) fait intervenir un nombre indéterminé d'objets anonymes. Grâce à la cryptographie, chaque intervenant peut échanger les données de façon protégée. Tout objet est alors représenté par un double clé (publique/privée), et possède notamment le droit de lecture, d'écriture et de confirmation des transactions dans la blockchain. La chaîne de blocs est protégée lorsque plus de 51 Généralement, les blockchains sans autorisation nécessitent beaucoup d'énergie et de temps, car elles nécessitent énormément de calculs afin de consolider la sécurisation du système

On distingue trois sortes de blockchain, qui dépendent de leur fonctionnement :

### 2.8.1 Blockchain public :

Quiconque a la possibilité de lire ou d'écrire les données, à condition de posséder un PC et une connexion Internet. Ce type de réseau est partiellement limité l'accès à la lecture ou à l'écriture. Bitcoin est un exemple qui fonctionne avec une méthode dans laquelle toute personne peut intervenir en écriture.

### 2.8.2 Blockchain privée :

Elle n'est pas accessible au public, mais seulement par invitation. et que tous les participants se connaissent et ont confiance les uns dans les autres. Cette caractéristique est particulièrement utile quand Blockchain est utilisé entre des sociétés qui appartiennent au même secteur d'activité.

### 2.8.3 Blockchain autorisée :

Également appelé Blockchain Consortium, il constitue un système hybride entre les blockchains privées et publiques. Dans ce genre de blockchain, seulement un petit nombre de nœuds choisis sont prédéfinis et invités à rejoindre la chaîne, en revanche toutes les opérations sont publiques. Ceci veut dire que les nœuds contribuent à la maintenance et à la sécurisation de ce réseau, mais que toutes ces transactions sont vues par les utilisateurs partout dans le monde. Le droit à la lecture peut être ouvert au public ou être limité aux participants. Les chaînes de blocs du Consortium conservent la confidentialité des données, tout comme les blockchains privées.

## 2.9 Acteurs de Blockchain :

De plusieurs intervenants qui jouent différents rôles sont :

— **Un architecte blockchain :**

est le concepteur de la solution blockchain. Pour être fonctionnelle, une solution blockchain doit d'abord exister. L'architecte de la blockchain est la personne ou le groupe qui a réalisé la conception de la blockchain.

— **Le développeur Blockchain :**

Les développeurs créent et chargent des smart contracts dans la blockchain afin de développer ses capacités. Ils se chargent également à la mise en œuvre de ces contrats, les développeurs front-end pourront aussi implémenter des applications qui ont accès à la blockchain.

— **L'opérateur :**

c'est lui qui s'occupe de stockage et de la mise à jour de livre de la blockchain, Lorsque le système de blockchain est élaboré et mis en œuvre, les opérateurs peuvent se regrouper pour former le réseau peer-to-peer. La mission de l'opérateur consiste à installer et maintenir des pairs au sein du réseau.

— **Le traitement des données :** Est représenté par un système externe utilisé pour un traitement supplémentaire. Les smart contracts s'exécutent sur la blockchain, ce qui signifie que chaque intervenant du réseau doit exécuter le code pour rester synchronisé avec l'état actuel du réseau. Si les contrats intelligents nécessitent généralement une grande quantité de puissance de traitement, des périphériques externes au réseau sont utilisés pour augmenter cette puissance.

— **Régulateur Blockchain :** De nombreuses entreprises sont soumises à des réglementations concernant la manière dont leurs données doivent être stockées et traitées. Pour

- les solutions de type blockchain, un régulateur peut avoir une plus grande visibilité dans le grand livre historique en raison de son rôle au sein de l'organisation.
- **Stockage de données** : est représenté par les bases de données traditionnelles pour stocker les données hors chaîne. La blockchain fournit un stockage distribué immuable avec un contrôle d'intégrité intégré; Cependant, sa capacité maximale est basée sur la taille et le taux de blocs standard. Pour permettre la vérification de l'intégrité de grandes quantités de données, il est courant de stocker les données hors chaîne et de stocker un hachage des données en chaîne. Cela garantit que les données ne sont pas modifiées tout en protégeant la blockchain contre le gonflement.
  - **L'utilisateur final** : Est le consommateur de services construits autour de la blockchain. En règle générale, cela implique l'utilisation d'un logiciel qui utilise la blockchain comme solution de stockage principale. Les utilisateurs interagissent rarement directement avec la blockchain.

## 2.10 Les différentes couches de la Blockchain :

### 2.10.1 La couche Internet :

Cette couche est la base de toute la pile. Elle correspond à la réunion de tous les réseaux comme les périphériques IoT, Smartphones, les ordinateurs, etc. Ils reposent tous sur l'Internet. Cette couche définit la manière dont les données sont transmises, adressées, groupées en paquets, etc. La première version de l'internet en 1989, appelée Web Version 1 ou web (WWW). Elle a utilisé l'Internet de l'information. Elle a déterminé une structure spécifique et des URL menant à d'autres ressources. Après plus d'un ans, cette technologie a été à nouveau améliorée et est devenue la version 2 du Web. Avec cette version, on parle d'Internet des interactions, utilisé surtout sur les sites de médias sociaux et sur les sites de e-commerce. Grâce à cette version, la connexion entre pairs s'est progressivement développée et plusieurs grands groupes en ont joué le rôle de support à cet égard. Ces groupes ont profité de l'utilisation de la publicité ou d'autres ressources d'abonnement. Cette popularité a donné lieu à la dernière version du Web 3. La majorité des gens considèrent que c'est l'Internet de la valeur ou Internet. La blockchain est l'un des initiateurs majeurs de cette évolution. Elle a débuté avec le bitcoin et fait doucement son chemin vers les plus grands marchés. La même technologie pourrait venir à remplacer les médias sociaux . Elle peut en effet rendre le Web décentralisé.

### 2.10.2 Couche de l'expérience utilisateur (UX) :

Elle permet de donner un libre accès au réseau entier et aux différentes applications de la blockchain. Elle constitue la partie avant de toute la pile.

### 2.10.3 La couche d'application :

Le système Bitcoin a constitué la frontière pour beaucoup d'autres technologies blockchain. Toutefois, les fourches se sont multipliées. Le niveau d'application du système englobe toutes les fonctionnalités autres que celles des simples crypto-monnaies. On trouve dans cette couche les smart contracts et les applications décentralisées. Elle autorise le développement d'applications décentralisées qui agissent indépendamment de l'algorithme de consensus.

Les smart contracts offrent des utilisations plus complexes.

## **2.10.4 Couche de protocole Blockchain :**

Le fonctionnement de cette couche est semblable à celui de tous les autres réseaux blockchain. Les nœuds lanceront des protocoles, ils ajouteront des données au registre et ils garantiront des transactions transparentes.

Ce protocole présente un grand livre ouvert, de confiance et partagé. Il fournit suffisamment de retours de la part des utilisateurs.

## **2.11 Domaines d'applications de la Blockchain :**

Nous présentons dans cette section quelques applications de la Blockchain ; Supply chain, vote, identité numérique, gouvernement et santé :

### **2.11.1 Supply chain (Chaîne d'approvisionnement) :**

La Supply chaîne est un procédé compliqué difficile à suivre et d'avoir une visibilité transparente sur tous l'ensemble, ce qui a conduit à une variété de comportements d'entreprise non éthiques qui vont du commerce illégal aux contrefaçons et aux dégâts environnementaux. Tout au bout de la chaîne d'approvisionnement, les consommateurs ne disposent pas des informations selon lesquelles un produit final a été importé tout au long de la chaîne d'approvisionnement. Aujourd'hui, vous pouvez perdre vos colis par la poste. En tirant parti de la convergence du paradigme IoT et des contrats intelligents, vous pourrez enregistrer la position à tout moment de vos colis grâce à la connexion de capteurs à chaque étape.

### **2.11.2 Vote :**

La Blockchain permet de convertir le système de vote classique en système numérique et peut proposer une plate-forme de vote protégée pour prendre en charge tout le processus ; voter, retracer et comptabiliser les votes et éviter les problèmes comme la perte de documents et la tromperie des électeurs. Ces derniers ont la possibilité de comptabiliser eux-mêmes leurs votes et de vérifier si aucun vote a été effacé ou manipulé.

### **2.11.3 identité numérique :**

Un système de vérification plus sûr de l'authenticité des individus et de limiter les risques de fraude.

### **2.11.4 Gouvernement :**

La chaîne de blocs peut être utilisée pour donner l'assurance aux citoyens que les hommes politiques se comportent convenablement avec leur argent, et peut également contribuer à lutter contre les crimes financiers. Cette technologie permet d'enregistrer toute transaction sans être manipulée, rendant la destination définitive transparente aux yeux du public.

### **2.11.5 Santé :**

Les établissements de soins de santé doivent faire face à des problèmes de sécurité et de protection de la vie privée quand ils partagent des données sur des plateformes multiples. Améliorer la collaboration entre les différents prestataires signifie des progrès dans plusieurs aspects des soins de santé, tels que la fiabilité des analyses et la rapidité des traitements.



Blockchain est capable de créer un tel environnement protégé afin de faciliter le travail des établissements de santé, et aux autres intervenants dans ce domaine de se partager un accès à leur réseau en bénéficiant des garanties concernant l'intégrité des données.

## 2.12 Les avantages de la Blockchain :

Les chaînes de blocs permettent de consolider la sécurité essentiellement sur trois plans : empêcher tout vol d'identité, éviter toute manipulation des données et toute attaque par déni de service.

- **Vol d'identité :**

Le système de preuve de travail de la Blockchain et son registre des transactions distribué permettent de réduire les risques de vol de données et de leurs falsification.

- **Eviter la manipulation des données :**

Dans le domaine de la technologie blockchain, la cryptographie, le hachage et une structure décentralisée font qu'il est pratiquement impossible pour un membre quelconque de changer les données du registre. Cela permet de prévenir et de détecter toutes les manipulations. Une solution intéressante mise au point pour empêcher la fraude et la manipulation est le système KSI (Keyless Signature Infrastructure), qui garantit à la fois la protection des réseaux et la sûreté des données.

KSI enregistre dans une blockchain la signature numérique du fichier original. et ensuite il vérifie les exemplaires en comparant les signatures des exemplaires stockés dans la blockchain. Si une manipulation est faite elle est très vite détectée car les hash enregistrés dans la blockchain se trouvent dans plusieurs centaines de nœuds. KSI est une technologie utilisée dans les secteurs aéronautique et spatial, la défense, de même que dans le secteur de la santé.

- **Prévention toute attaque par déni de service :**

Il existe un nombre élevé de critiques à protéger. La Blockchain peut contribuer et aider avec le DNS (Domain Name System), qui fournit un accès à des sites web à l'aide de noms de domaine plutôt que d'adresses IP.

Ce système est centralisé de façon dangereuse dans quelques serveurs de base contrôlés par l'ICANN (Internet Corporation for Assigned Names and Numbers). Qui est chargé des adresses de protocole, des identificateurs de protocole, des noms de domaine et de la gestion des systèmes de serveurs racine. Blockchain peut créer un DNS distribué bien plus transparent, qui rendrait pratiquement impossible la manipulation par une entité unique.

## 2.13 Challenges de la Blockchain :

Blockchain est une technologie récente qui se propage dans de nombreux secteurs et offre des avantages et des opportunités. Mais cette technologie présente sa propre gamme de challenges à surmonter. Quelques-uns de ces défis majeurs sont discutés dans cette partie.

### 2.13.1 Sécurité et protection des données :

La sécurisation et la protection des données sont le premier et le plus important des défis à affronter. Grâce à la réalisation des applications basées sur la technologie blockchain, le besoin de faire appel à un acteur tiers pour une transaction est supprimé. Comme le mécanisme

de la blockchain autorise toute la communauté, et non un seul tiers de confiance, de vérifier les données dans cette architecture blockchain, celles-ci sont soumises à de réels risques de sécurité et de confidentialité. Car tous les noeuds ont accès aux données émises par un noeud.

### **2.13.2 La gestion des capacités de stockage :**

Un autre défi qui apparaît sur ce front est la gestion de la capacité de stockage. La Blockchain a été conçue pour enregistrer et traiter les données de transaction, qui ont une portée limitée, de sorte qu'elle n'a pas besoin de beaucoup de stockage. Avec le temps, au fur et à mesure de son expansion dans le domaine de la santé, les défis du stockage devinrent évidents. Le secteur de la santé contient une grande quantité de données qui doivent être traitées quotidiennement. Des dossiers des patients aux antécédents médicaux, en passant par les rapports de test, en passant par les analyses IRM, les rayons X et autres images médicales, toutes les données du scénario de la blockchain seront disponibles pour tous les noeuds de la chaîne, ce qui nécessite un espace de stockage considérable. De plus, les applications de la blockchain étant basées sur des transactions, les bases de données utilisées pour cette technologie ont tendance à se développer rapidement. En raison de la taille croissante des bases de données, la vitesse de recherche et d'accès à l'enregistrement devient lente, ce qui est tout à fait inadéquate pour les types de transactions pour lesquels la rapidité est essentielle. Par conséquent, une solution de chaîne de blocs doit être évolutive et résiliente.

### **2.13.3 les défis sociaux :**

Cette technologie est encore en pleine évolution et se trouve donc confrontée à des défis sociaux, comme le changement de culture,

### **2.13.4 Défis de la normalisation :**

La technologie de la blockchain est encore à ses balbutiements et elle sera donc certainement confrontée à des problèmes de standardisation en vue de son application dans plusieurs domaines. Un certain nombre de normes bien authentifiées et certifiées seraient exigées des autorités internationales de normalisation. Ces normes prédéfinies seraient utiles pour évaluer la taille, la nature des données et le format des informations échangées dans les applications blockchain. Ces normes examineront non seulement les données partagées, mais devront également servir de mesures de sécurité préventives.

### **2.13.5 Le problème d'interopérabilité :**

La blockchain connaît aussi le problème de l'interopérabilité, autrement dit, les blockchains de plusieurs prestataires et de services de communication peuvent communiquer entre eux de manière transparente et appropriée. Ce problème constitue un obstacle au partage efficace des données.

## **2.14 Conclusion :**

De nos jours les blockchains sont très populaires, c'est l'une des technologies qui a suscité beaucoup d'intérêt permettant de résoudre plusieurs problèmes tel que le transfert d'argent sans avoir à faire à la banque mais elle peut également servir à établir une traçabilité sur tout type de produits et de services. La blockchain est en évolution constante, l'un des

développements les plus récents c'est la création des contrats intelligents (ceux sont des programmes qui sont stockés dans la blockchain et peuvent être utilisés pour un échange automatique) La codification des données est une méthode de traçabilité qui réalise un gain de temps énorme mais permet aussi un contrôle de forme sur l'information et cela permet notamment de faire un suivi facile de la marchandise ou les matières codifiées à chaque étape du processus.

# Utilisation de la blockchain pour la traçabilité des produits alimentaires

## 3.1 Introduction :

L'exigence de transparence sur l'origine des produits et la quête du mieux manger sont en effet de plus en plus prenants dans le parcours d'achat des consommateurs. En outre, la crise économique n'a fait que renforcer la volonté des consommateurs de soutenir les producteurs. Selon une étude OpinionWay – Alkemics, 64

Si 83

## 3.2 Blockchain : explication et définition

La blockchain est une technique de notarisat on électronique qui garantit qu'une information ne peut être alt r e après son enregistrement. En décentralisant le stockage de l'information, cette technologie permet un partage d'informations plus transparent. La blockchain fonctionne en effet sans organe central de contrôle, mais par une collaboration des différents acteurs (par exemple : fournisseurs, transformateurs et distributeurs), hébergeant chacun un nœud (une copie) de la blockchain. Une fois enregistr es, les données ne peuvent plus être modifi es. D'une part, parce que chaque bloc contient une empreinte de l'historique de toutes les transactions, et d'autre part parce qu'une tentative de modification d'un nœud de la blockchain serait immédiatement d tect e par les autres. Dans ce contexte, la technologie blockchain permet d'établir un système dans lequel chaque étape du cycle de production peut être cartographi e en temps réel. Appliqu e au secteur alimentaire, la blockchain agit comme un véritable tiers de confiance entre les marques et les consommateurs. Les informations enregistr es par les différents intervenants de la chaîne permettent une réelle traçabilité du produit : provenance, producteur, lieu d'élevage, mode de production, certifications... le consommateur peut disposer de toutes les informations qu'il recherche

## 3.3 Exemple d'un produit agro-alimentaire :

Afin de comprendre ce que permet la blockchain pour assurer la traçabilité d'une filière, prenons un exemple concret : la blockchain appliqu e à la filière du pain. la technologie blockchain donne l'occasion au consommateur d'obtenir des informations très précises pour chaque produit. Ainsi, lorsqu'il tient une baguette de pain dans sa main, il peut savoir que la farine vient de tel producteur, que le blé a été moulu par tel meunier et que le pain a été pétri

et cuit dans telle boulangerie. Grâce à ce procédé, les marques sont capables de raconter une histoire autour de leurs produits : le consommateur peut tout connaître du cycle de production, jusqu'au prénom du boulanger qui a fabriqué le pain !

Autre atout pour les marques : la technologie blockchain permet un contrôle du cycle de production du produit. Dans la mesure où chaque acteur rentre des traces et que chaque trace peut être vérifiée par rapport aux autres. Si l'agriculteur renseigne qu'il a livré 2 tonnes de blé au meunier et que le meunier déclare n'avoir reçu que 1,7 tonne de blé, la blockchain permet d'identifier l'incohérence entre la déclaration de livraison et celle de réception. Une alerte peut alors être envoyée afin de vérifier et de corriger le problème.

### **3.4 Les bénéfices de la blockchain pour les entreprises agroalimentaires :**

la technologie blockchain impose les échanges entre les différents acteurs d'une filière. Son objectif premier est le partage d'informations en toute transparence, pour favoriser la traçabilité des produits. Dès lors, la traçabilité blockchain appliquée à l'agroalimentaire représente un allié de taille pour les marques, en vue de rétablir la confiance des consommateurs

#### **3.4.1 Création d'un climat de confiance auprès du consommateur :**

Dans un écosystème aussi complexe et international que l'agroalimentaire, la technologie blockchain est particulièrement adaptée. Elle offre en effet une visibilité sur chaque étape du cycle de production, ce qui participe notamment à renforcer la confiance entre les différents fournisseurs et à restaurer le lien de confiance avec le consommateur. L'origine des produits est certifiée et la traçabilité est prouvée au fur et à mesure du cycle de production. En plus d'être séduits par l'histoire racontée autour de la vie du produit, les consommateurs sont rassurés quant à sa provenance.

#### **3.4.2 Pouvoir réagir plus vite en cas de crise alimentaire et réduire les coûts de rappel :**

Les rappels représentent une menace énorme pour les marques, tant en termes financiers qu'en termes de réputation. Dans ce contexte, la traçabilité blockchain est un allié de taille : la connaissance précise du cycle de vie du produit permet une identification rapide des lots concernés par le rappel, ce qui améliore la réactivité et réduit les coûts.

#### **3.4.3 Se différencier pour être mieux référencé en grande distribution :**

la traçabilité blockchain répond aux attentes des consommateurs. Se doter d'une telle technologie est donc une démarche gagnante en vue de séduire la grande distribution. Adopter une solution de traçabilité telle que la blockchain constitue en effet un argument de poids dans la négociation avec les enseignes de distribution. Il s'agit d'ailleurs d'une tendance à la hausse. Plusieurs marques et enseignes ont d'ores et déjà compris l'intérêt de la blockchain et ont déployé cette solution. Utiliser la technologie blockchain pour prouver la traçabilité de vos produits alimentaires permet de valoriser vos produits et de protéger votre marque.

## 3.5 La blockchain dans le secteur élevage-viande :

Depuis quelques années, de nombreuses DApp (applications décentralisées), basées sur la technologie blockchain, commencent à voir le jour. Par sa nature décentralisée, la blockchain répond tout d'abord à la topologie du réseau des acteurs de la filière, qui le sont tout autant : c'est-à-dire fragmentés, et ne se faisant pas nécessairement tous confiance. Ainsi, cette technologie semblerait être en mesure de répondre aux problématiques du manque de connexion entre les différents systèmes de traçabilité, qui viendront collaborer sur un système qui harmonisera les informations provenant de différentes sources. En effet, une collaboration des différents acteurs de la filière pourrait présenter les avantages suivants pour ces derniers : • Réduction du coût administratif liée à la supply chain • Réduction de la fraude

- Identification plus précise des produits en cas de problème sanitaire, dans la mesure où il est possible d'identifier de façon unitaire les animaux impliqués sur chaque numéro de lot

De nos jours, le coût actuel de la fraude dans la supplychain alimentaire s'élèverait jusqu'à 40 milliards de dollars par an, d'après une étude PwC datant de 2016 (PwC, 2016). L'usage de la technologie blockchain permet également d'améliorer la confiance vis-à-vis des informations de traçabilité, en 'signant' nativement les informations inscrites sur le registre distribué. En effet, la signature électronique revient à certifier l'intégrité d'une information inscrite. La technologie blockchain utilise par défaut ce mécanisme afin d'assurer une meilleure qualité de l'information inscrite sur le registre partagé. Ainsi, cela revient à garantir à l'ensemble du réseau, de façon irréfutable et non répudiable, l'identité de l'acteur qui a inscrit l'information. Par exemple, si un abattoir spécifie la méthode d'abattage dans une base de données classique, alors rien ne garantit qu'il s'agit bien de l'abattoir qui a édité l'information en bout de chaîne au niveau du distributeur. La blockchain permet ainsi de garantir à tout le monde que l'abattoir (et personne d'autre) est bien l'auteur de cette information, via des mécanismes de signature cryptographique inhérents à la technologie. Par conséquent, nous voyons bien dans quelle mesure la technologie blockchain permet de passer d'un système d'information 'déclarative' à une information 'certifiée'. En ce qui concerne les consommateurs, les apports seraient les suivants :

- Développement d'une relation de confiance avec les acteurs de la filière
- Revalorisation des produits disposant d'une traçabilité plus complète
- Meilleure accessibilité des informations relatives à la traçabilité animale.

## 3.6 Exemple de mise en place pratique :

### 3.6.1 Le réseau d'acteurs considéré :

Dans le cadre des expérimentations que LABEL FOOD CHAIN a conjointement mené avec la marque "HACHÉS DE FRANCE", 40 bovins ont été tracés en recensant les informations provenant de l'élevage, et allant jusqu'à la phase de distribution en restauration. Dans ce contexte, une quarantaine d'acteurs de la filière ont été impliqués dans le processus de traçabilité, en suivant la répartition suivante :

### 3.6.2 L'outil informatique développé :

#### La partie back-end - Serveur :

Le serveur assure la communication avec un noeud blockchain (Ethereum) en lecture/écriture du registre afin de gérer les certifications des acteurs et les différentes étapes de la traçabilité bovine • Il communique aussi avec 2 bases de données MongoDB : Une base de données dite 'public' (de l'ordre de 15 Mo actuellement), qui agit comme un cache des informations blockchain, où les états des différents bovins et certifications des acteurs de la filière sont

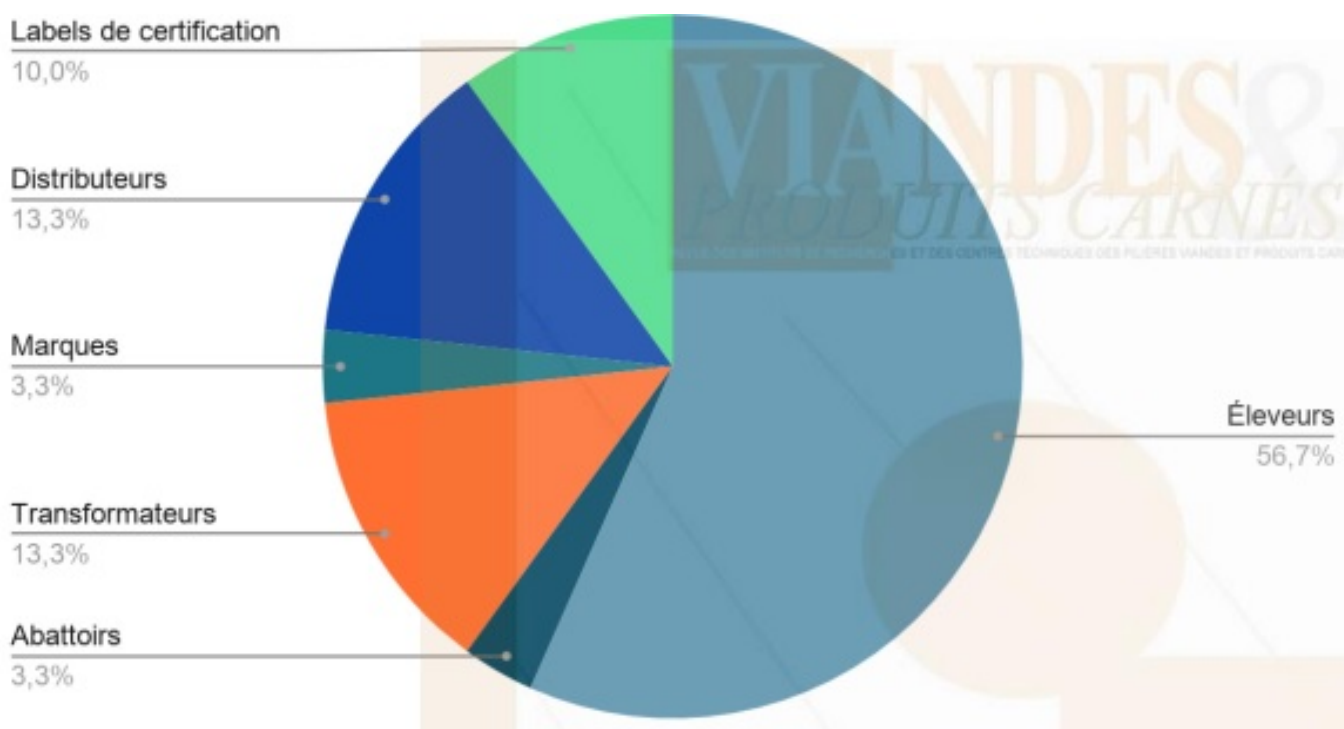


FIGURE 3.1 – Répartition des acteurs de la filière impliqués par l'expérimentation

synthétisés. L'utilisation de cette base de données est justifiée par le fait que la blockchain dispose d'un temps d'accès aux données relativement élevé. Ainsi, l'utilisation d'une telle base de données permet d'accélérer les temps d'accès aux informations pour des requêtes complexes, et donc pour des contraintes de performance au niveau de la récupération des données (tant bien au niveau de l'interface web back-office, qu'au niveau application mobile). Sachant que chaque nœud blockchain est connecté à un serveur, lui-même relié à une base de données de cache, alors la quantité de bases de données 'public' s'alignera avec la quantité de registre blockchain afin de conserver le même niveau de décentralisation. Une base de données dite 'private' (de l'ordre de 28 Mo actuellement), qui contient des informations plus personnelles, relatives aux comptes d'utilisateur dans l'application (hors blockchain) • Le serveur expose des API pour toutes les catégories d'utilisateur.

#### La partie Application Mobile (B2C) :

- L'application mobile a été développée pour que le consommateur final puisse accéder à un résumé de la traçabilité du produit en renseignant un numéro de lot du produit.
- L'application mobile interagit avec des API de la partie serveur afin d'accéder aux informations de traçabilité bovine.

#### La partie Interface Web Back-Office (B2B) :

- L'interface web Back-office est destinée aux professionnels du secteur de la viande bovine.
- L'interface web est générique pour l'ensemble des typologies d'acteurs, mais certaines fonctionnalités diffèrent selon leurs rôles dans le processus de traçabilité bovine. En effet, l'interface détaillant les informations des bovins et produits est similaire pour l'ensemble des acteurs. Cependant, certaines fonctionnalités diffèrent entre elles : par exemple un label bio se focalise sur la saisie des durées de certification des éleveurs/marques, ... tandis qu'un abattoir renseignera les informations relatives aux bovins et à son abattage.

### 3.6.3 Résultats concernant la communication aux consommateurs :

Dans le cadre de cette même expérimentation, un QR Code est affiché sur l'emballage de chacun des produits, et le scan de ce dernier permet de rediriger vers une application web. Une fois redirigé sur cette application web, l'utilisateur est invité à renseigner le numéro de lot du produit (en rouge sur la figure, afin d'accéder à l'historique du produit, depuis la phase de l'élevage, jusqu'au distributeur.



FIGURE 3.2 – Screenshots de l'application mobile pour le consommateur

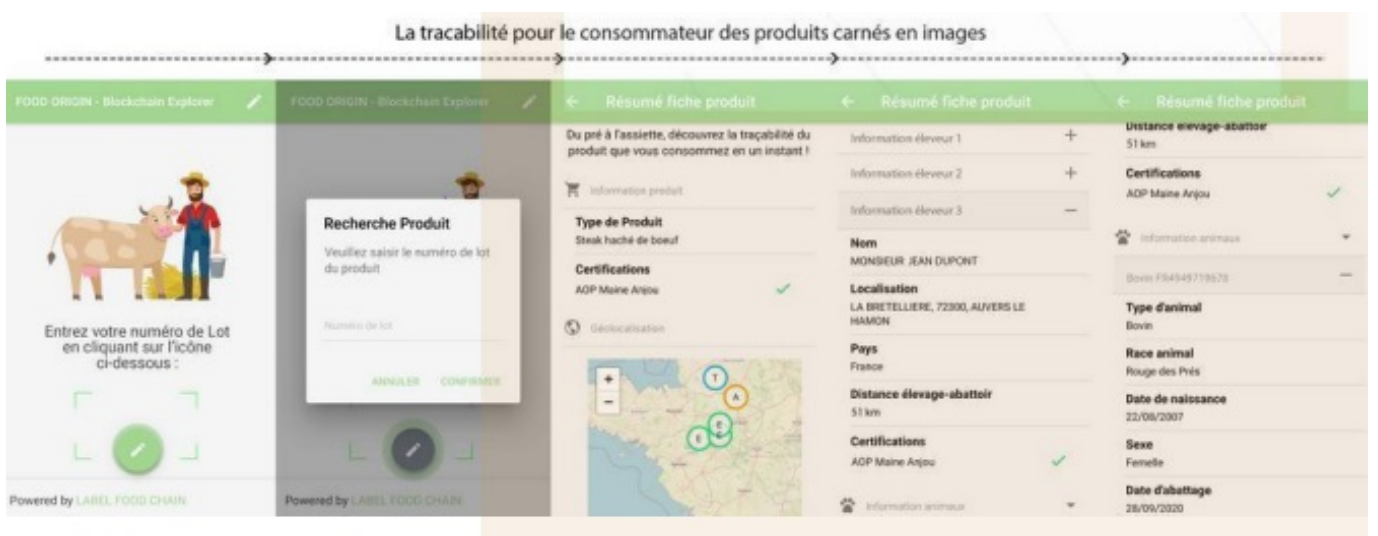


FIGURE 3.3 – Screenshots de l'application mobile pour le consommateur



### 3.7 Conclusion :

Il est important de retenir que les tendances de consommation ont évolué et nécessitent une exigence nouvelle en termes de transparence. Pour cette raison, une convergence entre les différents acteurs de la filière devient indispensable. Cela s'explique par l'apparition d'un nouveau profil de consommateurs avertis et engagés entraînant ainsi de nouveaux standards en termes d'exigence. De ce fait, les nouvelles technologies telles que la blockchain se veulent la pierre angulaire de cette démarche de consommation responsable, et totalement transparente. Par conséquent, la confiance du consommateur ne peut être obtenue qu'à la seule condition que l'infrastructure logicielle demeure décentralisée. C'est de cette manière qu'un distributeur (boucher/supermarché/restaurateur...) pourra apporter des preuves factuelles quant à la traçabilité de ses produits, créant ainsi une forte valeur ajoutée et renforçant sa relation de confiance avec ses clients

## Conclusion Générale :

La technologie blockchain va transformer la façon dont les individus et les entreprises échangent et créent de la valeur, et ce, à des degrés divers selon les secteurs d'activités.

Elle apporte à ses utilisateurs confiance, sécurité et transparence ; et entre ainsi en parfaite résonance avec la raison d'être de PwC : « Build trust in society and solve important problems ». Une plateforme blockchain est essentiellement une base de données décentralisée qui intègre un système de gouvernance personnalisable, et permet de partager un historique unique et transparent des transactions sécurisées.

De nombreuses entreprises, consortiums et institutions gouvernementales mesurent déjà les bénéfices qu'apporte la technologie blockchain : nouveaux business models, sécurisation des chaînes d'approvisionnement, valorisation de la donnée, fléchages des investissements / aides financières, renforcement de la coopération et de la standardisation, optimisation et fiabilisation des processus, solutions de financement, prévention des risques, amélioration de l'expérience client (BtoB ou BtoC).

## Bibliographie

- [2] **Jacques COLIN**, LA LOGISTIQUE : HISTOIRE ET PERSPECTIVES vol 4 n° 2 – 1996, page 7
- [4] **Mohammad Reza AKBARI JOKAR**", Lionel DUPONT" et Yannick FREIN", EVOLUTION DU CONCEPT DE LOGISTIQUE, p 18
- [5] **BARBARA LYONNET**, MARIE-PASCALE SENKEL, la logistique, édition, paris, 2005, page 9,10
- [6] **Gerard Baglain et al**, management industriel et logistique, conception et pilotage de la supply chain, édition economica, 4eme édition, paris, 2005, Page 144
- [7] **PIMOR Yves**, logistique : production, distribution, soutien, édition DUNOD, 2eme édition, paris, 2005,Page4.
- [10] **GRATACAP Anne, MEDAN Pierre**, « logistique et supply chain management : intégration, collaboration et risque dans la chaîne logistique globale », Dunod, 2006 pages 19
- [12] **MANSOURI Hanane, MAZOUZI Souad** « minimisation des couts logistique de distribution des centres de livraison régionaux aux grossistes », mémoire master recherche, université Abderrahmane, Mira, Bejaia, année 2016, p.8
- [14] **Mohamed Zied Babai**. Politiques de pilotage de flux dans les chaînes logistiques : impact de l'utilisation des prévisions sur la gestion de stocks. Sciences de l'ingénieur [physics]. Ecole Centrale Paris, 2005
- [16] **GHEDIRA KHALED**, Op.cit, p.118.
- [18] **Mentzer J.T, Dewitt W., Keebler J.S, Min S., Nix N.W, Smith C.D, and Zacharia Z.G**, 2001. Defining the supply chain management. Journal of Business logistics, vol 22, n°2, pp : 1-20
- [19] [20] [21] **Jihène Tounsi**. Modélisation pour la simulation de la chaîne logistique globale dans un environnement de production PME mécatroniques. Sciences de l'ingénieur [physics].
- [22] **JAOUHER MAHMOUDI**, « simulation et gestion des risques en planification distribuée de chaînes logistiques : application au secteur de l'électronique et des télécommunications », thèse en vue de l'obtention du doctorat en logistique, 2006 p. 56
- [23] **Mariem Trojet**. Planification d'une chaîne logistique: approche par satisfaction de contraintes dynamiques. Automatique. INSA de Toulouse, 2014
- [25] **Cooper et al., 1997** : M.C. Cooper, D.M. Lambert et J.D. Pagh. Supply Chain Management : More Than a New Name for Logistics.
- [26] **Shapiro**, 1999 : J.F. Shapiro. Bottom-Up vs. Top-Down approaches to supply chain modeling, in Quantitative models for supply chain management

- [27] **Thomas et Griffin**, 1996 : D.J. Thomas, P.M. Griffin. Coordinated supply chain management. European Journal of Operational Research. 94, 1996, pp 1-15
- [28] **M.JULIEN FRANCOIS**, « Planification des chaines logistiques : Modélisation du système décisionnel et performance », thèse pour l'obtention du grade de docteur en productique, 2007, p.p.23, 24
- [29] **Michael Hugos**, Essentials of Supply Chain Management, 2011.
- [30] **Lee et Billington**, 1993
- [31] **MAYYAD JABER**, Architecture de Système d'Information Distribué pour la Gestion de la Chaîne Logistique : Une Approche Orientée Services
- [32] **MARCHEL (A)** : « logistique globale », ellipses, édition Marketing S.A, 2006, P.31
- [37] **Harris and Fuller**, 2014
- [38] **El Bassam et al.**, 1998
- [40] **Thornley and France**,2007 ; **Higgins et al.**,2010
- [41] **Roux, N.** (2013). La volatilité des marchés mondiaux des matières premières agricoles et l'évolution des prix à la consommation de l'alimentation en France. DGCCRF éco.

## Webographie

- [1] L'histoire de la logistique, <http://logistique-pour-tous.fr/histoire-de-la-logistique/>
- [3] L'histoire de la logistique à travers les âges, <http://logistique-pour-tous.fr/histoire-de-la-logistique/>
- [8] digital supply chaine, <https://www.ddslogistics.com/logistique-dans-une-entreprise/>
- [9] le role de la logistique, <https://www.ddslogistics.com/logistique-dans-une-entreprise/>
- [11] faq logistique, <https://www.faq-logistique.com/Logistique.htm>
- [13] Etude logistique, <https://etudeslogistiques.sergebillconsulting.com/les-contraintes-de-la-logistique-industrielle/>
- [15] Qu'est ce qu'une chaîne logistique?, <https://abas-bs.com/fr/erp-faq/quest-ce-qu-une-chaîne-logistique>
- [17] Supply Chain Management, [https://www.researchgate.net/figure/La-chaîne-logistique-GALASSO-2007-Council-of-Supply-Chain-Management-5-conserve\\_fig2\\_320181416](https://www.researchgate.net/figure/La-chaîne-logistique-GALASSO-2007-Council-of-Supply-Chain-Management-5-conserve_fig2_320181416)
- [24] Dico-management, <http://stmg.education/les-dicos/dico-management/types-decisions.html>
- [33] [http:// www.Cat-logistique.Com /optimisation.Htm](http://www.Cat-logistique.Com/optimisation.Htm)

[34] Gestion chaîne logistique, <http://www.faq-logistique.com/GCL-Logigaide-Vol08Num01-Gestion-Chaine-Logistique.htm>

[35] Suppluchain, <https://www.koerber-supplychain.com/fr/about-us/blog/les-defis-de-la-logistique-dans-le-secteur-agroalimentaire/>

[36] Contraintes de la logistique agroalimentaire, <http://www.logistiqueconseil.org>

[39] étape de chaîne agricole, <https://www.bioenergie-promotion.fr/55360/optimiser-les-chaines-logistiques-de-la-biomasse-agricole/>

[42] Traçabilité agro-alimentaire, [https://fr.wikipedia.org/wiki/Tra%C3%A7abilit%C3%A9\\_agroalimentaire](https://fr.wikipedia.org/wiki/Tra%C3%A7abilit%C3%A9_agroalimentaire)

## Résumé

Se doter d'un système de traçabilité de produits agro-alimentaires permettra aux différents maillons de la chaîne logistique d'être informé de la source et la destination des produits. Dans ce contexte, nous avons développé un système de traçabilité permettant de visualiser le cheminement des produits entre plusieurs acteurs à savoir fournisseur, producteur, grossiste, superette et consommateur. Cette application affiche les informations des produits, des lots vendus ainsi que les factures et les bons de livraison, ceci permettra à chacun des acteurs d'avoir une meilleure gestion des flux physiques et d'informations et plus de visibilité sur les produits utilisés.

Mots-clés : traçabilité, chaîne logistique, produits agro-alimentaires, flux d'informations

## Abstract

Adopting a traceability system agroalimentary products will allow the various links in the supply chain to be informed of the source and destination of the products. In this context, we have developed a traceability system making it possible to visualize the progress of products between several actors, namely supplier, producer, wholesaler, seller and buyer. This application displays product information, sold batches as well as invoices and delivery notes, this will allow each of the actors to have better management of information flows and more visibility on the products used.

Keywords: traceability, supply chain, agroalimentary products, information flow.

## ملخص

سييسمح اعتماد نظام تتبع للمنتجات الغذائية بإبلاغ مختلف المستويات في سلسلة التموين بمصدر المنتجات ووجهتها. في

هذا السياق، قمنا بتطوير نظام التتبع الذي يمكن من تتبع مسار المنتجات بين العديد من الجهات الفاعلة، وهي الممون والمنتج

وتاجر الجملة والبائع وأخيرا المستهلك. يعرض هذا التطبيق معلومات المنتج، والقطع التي تم بيعها بالإضافة إلى الفواتير ووصل التسليم و هذا سيسمح لكل من الجهات الفاعلة بالحصول على إدارة أفضل لتدفق المعلومات و المزيد من الوضوح على المنتجات المستخدمة

الكلمات الرئيسية: التتبع، سلسلة التموين، المنتجات الغذائية، تدفق المعلومات