

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
Université Abou Bekr Belkaid – Tlemcen



Faculté de Technologie

Département de Génie Electrique et Electronique

Filière : Génie Industriel

**Projet Fin d'études de Master**

Intitulé :

**Amélioration d'une chaîne logistique agro-alimentaire , par  
l'intégration et la réalisation d'un système de traçabilité basé sur  
l'IOT et une plateforme web.**

Présenté par :

ImadEddine RAHMOUNI

Khoudir SOUCI

Devant le jury :

Président      Lamia SARI      MCA      Université de Tlemcen

Encadrant      DIB Zahira      MCB      Université de Tlemcen

Examineurs

Siham KOULOUGHLI      MCA      Université de Tlemcen  
Nihad MEGHELLI      MCB      Université de Tlemcen

2018/2019



# ***REMERCIEMENTS***

Nous tenons tout d'abord à remercier *Allah* le tout puissant et miséricordieux, qui nous a donné de la force et de la patience d'accomplir ce modeste travail,

Nous tenons à remercier nos parents et nos frères qui nous donnent le courage durant ces trois années d'études,  
En second lieu, nous réservons nos propres remerciements à notre encadreur  
***Mme. Z.DIB***  
pour leur précieux conseils et leur aide durant toute la période du travail, car sans leur patience notre projet n'aurait pas pu orienter envers ce port,

Nos remerciements s'étendent également à tous les enseignants et toutes les enseignantes durant les années de nos études, en particulier tous les membres du Laboratoire **MELT**,

Nos vifs remerciements vont aux membres de Jury pour avoir accepté de juger notre travail.

Enfin, nous tenons également à remercier toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

# *Dédicaces*

*Je dédie ce modeste travail comme preuve de gratitude, respect et de reconnaissance à mes chers parents qui ont éclairé mon chemin et m'ont encouragé et soutenu pendant mes études.*

- ❖ A mon cher frère et chères sœurs ;*
- ❖ A toute ma famille, mes grandes mères, mes oncles, mes tentes, mes cousins et cousines ;*
- ❖ A ceux qui m'aiment ;*
- ❖ A mes amis;*
- ❖ A tous mes collègues de la même promotion ;*
- ❖ A mon bras droit et mon binôme  
RAHMOUNI Imad Eddine.*

*SOUICI Khoudir*

# *Dédicaces*

*Je commence par rendre grâce à Allah  
« Alhamdulillah »*

*Avec un énorme plaisir, un cœur ouvert et une  
joie  
immense, que je dédie ce modeste travail tout  
d'abord :*

*A*

*Mes chers parents, Les meilleurs parents du  
monde.*

*A*

*Mes chers frères et Sœurs*

*A*

*Mes chers Enseignants, mon binôme*

*SOUICI Khoudir*

*Et*

*Chers collègues de la promotion génie  
industriel avec que j'ai passé des merveilleux  
instants et de beaux souvenirs.*

*RAHMOUNI Imad Eddine*

## Table des matières

Introduction générale.....	1
<b>I. Chapitre 1 Généralités sur la traçabilité et la chaîne logistique .....</b>	<b>3</b>
Introduction .....	4
Organisation du chapitre .....	4
1- Traçabilité .....	5
1.1 Définition de traçabilité.....	5
1.2 Problématique industrielle globale .....	7
1.3 Système de traçabilité.....	11
1.4 Etat de l'art des outils de traçabilité .....	12
1.5 Eléments à tracer et informations associées .....	15
2- Chaîne logistique.....	18
2.1 Introduction .....	18
2.2 Définition de la chaîne d'approvisionnement .....	18
2.3 La logistique .....	19
2.4 La stratégie de chaîne logistique .....	19
2.5 Les différents types de la logistique .....	19
2.6 Finalité de la logistique .....	20
2.7 La gestion de la logistique.....	20
2.8 Les conditions de réalisation d'une chaîne logistique performante .....	21
2.9 La gestion des stocks .....	21
2.10 L'intérêt de la logistique dans les entreprises .....	22
Conclusion.....	23
<b>II. Chapitre 2 Internet des objets .....</b>	<b>24</b>
Introduction .....	25
1. Définition d'objet connecté .....	26
2. Internet des objets .....	27
2.1. Architecture de l'IdO.....	27
2.2. Fonctionnement de l'internet des objets.....	30
2.3. Technologies utilisées par IdO .....	31
2.3.1. Internet des objets et RFID.....	31
2.3.2. Internet des objets et Big Data .....	32
2.3.3. Internet des objets et GPS .....	33
2.3.4. Internet des objets et GSM .....	34

2.3.5. Internet des objets et blockchain .....	35
2.4. Domaines D'applications .....	36
2.5. Enjeux et défis de l'IdO.....	39
2.6. Avantage et inconvénients.....	40
Conclusion.....	41
III. Chapitre 3 réalisation de maquette et site web .....	42
Introduction .....	43
1. Partie Software .....	43
1.1 Création et développement de BDD.....	43
phpMyAdmin: .....	43
1.2. Création et développement de l'interface de site web .....	48
L'HTML : .....	48
2. Partie Hardware .....	54
2.1. Présentation de l'Arduino.....	54
2.2. Capteur de température et d'humidité DHT11 .....	57
2.3. Le Bluetooth et le module HC-05 .....	58
2.4. Technologie RFID.....	60
2.5. Maquette finale.....	65
2.6. Description du système .....	65
2.7. Architecture du système : .....	66
Conclusion.....	70
Conclusion générale .....	71
Bibliography .....	72
Résumé .....	76

## Liste des figures

Figure 0-1 traçabilité amont, interne et aval dans la chaîne logistique. ....	6
Figure 0-2 les acteurs de la traçabilité. ....	10
Figure 0-3 schéma fonctionnel d'un système de traçabilité. ....	11
Figure 0-4 informations de traçabilité. ....	16
Figure 0-5 chaîne d'approvisionnement.....	19
Figure II-1 Tirée de la présentation de Stéphane Montiel (Janvie 2016).....	28
Figure II-2 Les différentes couches de l'internet des objets (Cisco).....	29
Figure II-3 Système RFID.....	32
Figure II-4 Module GPRS.....	33
Figure II-5 Module GSM.....	35
Figure II-6 Réseau de Blockchain.....	36
Figure III-1 Base de données.....	44
Figure III-2 La table des arrivées.....	44
Figure III-3 La table des lots.....	45
Figure III-4 : Table des produits.....	45
Figure III-5 La table des détaillants.....	46
Figure III-6 Table des fournisseurs.....	46
Figure III-7 Table des trajectoires.....	47
Figure III-8 La table des transporteurs.....	47
Figure III-9 La table des utilisateurs.....	48
Figure III-10 Page d'Accueil.....	49
Figure III-11 Page de Connexion.....	49
Figure III-12 Page d'Informations sur un Lot.....	50
Figure III-13 Historique du lot.....	50
Figure III-14 Page de trajectoires en cours, temps réel.....	51
Figure III-15 Ajout d'un nouveau produit.....	51
Figure III-16 Ajout d'un nouveau lot.....	52
Figure III-17 Ajout d'un nouveau détaillant.....	52
Figure III-18 Ajout d'un nouveau fournisseur.....	52
Figure III-19 Ajout d'un nouveau transporteur.....	53
Figure III-20 la carte Arduino Méga.....	54
Figure III-21 les différents pins de Arduino Mega2560.....	55
Figure III-22 Montage DHT11 avec Arduino mega 256.....	58
Figure III-23 Capteur DHT 11.....	58
Figure III-24 Le module bluetooth HC-05.....	59
Figure III-25 Câblage de HC-05 avec Arduino Mega2560.....	59
Figure III-26 Fonctionnement de système RFID.....	60
Figure III-27 Types de puces RFID.....	61
Figure III-28 Les lecteur RFID.....	61
Figure III-29 Câblage RFID RC522 avec Arduino Mega 2560.....	63
Figure III-30 Montage de la maquette finale.....	65
Figure III-31 Schéma de communication du système.....	66



Figure III-32 système d'authentification de l'interface .....	67
Figure III-33 le séquençement de visualisation des données .....	68
Figure III-34 le séquençement de visualisation des données par le client .....	69

## Liste des tableaux

Tableau 0-1 enjeux de la traçabilité .....	10
Tableau 0-2 Comparatif entre les principales solutions d'identification (sources : Ngai et al, 2008 ; Larose et al., 2010 ; Gencod-EAN, 2001).....	15
Tableau 0-3 Liste des informations à tracer (en amont). Sources : Chi-Dung Ta, 2002 et AFNOR, 2009. ....	16
Tableau 0-4 Liste des informations à tracer (interne). Sources : Chi-Dung Ta, 2002 et AFNOR, 2009 .....	17
Tableau 0-5 Liste des informations à tracer (en aval). Sources : Chi-Dung Ta, 2002 et AFNOR, 2009. ....	17
Tableau II-1 Les étapes technologiques pour la mise en place de l'IdO [tiré de ROX 2017, p.73] .....	30
Tableau II-2 Principaux systèmes technologiques nécessaires au fonctionnement de l'ido.....	31
Tableau III-1 fiche technique de Arduino Méga 2560 .....	55
Tableau III-2 répartition des fréquences selon la zone géographique.....	62
Tableau III-3 les principales caractéristiques liées aux bandes de fréquences. ....	62

## Liste des abréviations

**AFNOR** : Agence Française de Normalisation (<http://www.afnor.org/>).

**EAN** : Efficient Article Numbering Association, Ancienne dénomination de GS1.

**ERP** : Enterprise Resource Planning (en français : PGI pour progiciel de gestion intégré).

**GS1**: Global Standards One (<http://www.gs1.org/>).

**Ido** : internet des objets

**IETF** : L'Internet Engineering Task Force (IETF) élabore et promeut des standards Internet, en particulier les normes qui composent la suite de protocoles Internet (TCP/IP)

**ME** : Matériaux d'Emballage, aussi appelés « matières sèches ».

**MES** : (en anglais américain manufacturing execution system) est un logiciel de pilotage de la production

**MP** : Matières Premières (en anglais : RM pour raw materials).

**M2M** : Machine to machine c'est la communication machine à machine

**OC** : objets connectés

**OCE** : objets connectés enrichi

**OCR** : Optical Character Recognition (en français : ROC pour reconnaissance optique de caractères).

**OS**:operating systeme

**PF** : Produits Finis (en anglais : FP pour finished products).

**RFID** : Radio Frequency Identification (en français : étiquette radiofréquence).

**RFM** : Méthode de segmentation de clients par Récence, Fréquence et Montant.

**SCE** : Supply Chain Execution (en français : gestion opérationnelle de la chaîne logistique).

**SOAP** : simple Object Access Protocol

**TMS** : Transport Management System (en français : système de gestion des transports).

**TPE** : Très Petites Entreprises (en France de 0 à 19 salariés, <http://www.pme.gouv.fr/>).

**TRU** : Traceable Resource Unit (en français : unité de ressource traçable).

**UC** : Unité de Conditionnement.

**UCC** : Uniform Code Council, ancien organisme de codification des États. Aujourd'hui : GS1 US.

**UL** : Unité Logistique.

**URL** : Uniform Resource Locator Adresse d'un site ou d'une page hypertexte sur Internet.

**WMS** : Warehouse Management System (en français : système de gestion d'entrepôts).

# Introduction générale

Un nombre très important d'industries ont connu des crises diverses et des gaspillages très médiatisés, telle que la crise des vaches folles, à titre d'exemple, le scandale du lait maternisé, dont certaines ont eu, ou auraient pu avoir un impact important sur la sécurité des consommateurs touchés de plein fouet, selon l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) a publié dans son rapport annuel en 2011 un rapport intitulé Global food losses and food waste révélant que 1,3 milliard de tonnes de nourriture seraient perdues ou gaspillées tout au long de la chaîne d'approvisionnement chaque année, soit environ un tiers des aliments produits mondialement (FAO, 2011). Pas mal d'études estiment même que la proportion pourrait être de 40 %, voire 50 %, une proportion non négligeable des denrées gâchées est tout à fait propre à la consommation et pourrait servir à nourrir des gens si les choses étaient faites autrement, bien qu'une part de ces pertes et gaspillages soit inévitable dans certains cas, ce qui a entraîné une spéculation dans les marchés de produits de première nécessité.

L'objectif primordial et inévitable est de maîtriser les risques en sécurité alimentaire mais également la qualité des produits fabriqués voire éviter le gaspillage, en suivant dans la transparence le devenir des produits afin d'obtenir la confiance des consommateurs, l'arrivée du 1er Janvier 2005 du règlement européen 178/2002 ne fait que confirmer cette préoccupation en termes de traçabilité des produits, la traçabilité existe depuis un certain nombre d'années dans les entreprises à des niveaux plus ou moins satisfaisants, elle est définie selon la norme NF EN ISO 9000 :2000 « Aptitude à retrouver l'historique, la mise en œuvre ou l'emplacement de ce qui est examiné »

C'est avec une très grande rapidité que les systèmes intelligents ne cessent de se développer et de croître ces dernières années provoquant une sorte de concurrence et d'amélioration en termes de quantité et de qualité, cela est dû à la large bande des exigences du marché mais aussi la diversité des produits dans le but de satisfaire les besoins des clientes et leurs consommations avec une production optimale.

De nos jours, la tendance en technologies consiste à se servir des techniques sans fils tel que l'Internet des objets qui a été intégrée dans plusieurs domaines comme : l'industrie et l'agriculture ; l'internet des objets est un terme très vaste et riche, il nous fait imaginer un monde entier qui est relié et peut se communiquer grâce à l'échange d'informations entre ses objets.

La problématique de la traçabilité est en pleine évolution, il ne s'agit plus uniquement de tracer exhaustivement de lots de production mais également réduire la taille d'éventuels rappels.

Les puces RFID, pour ne citer que cela, ont la particularité de pouvoir donner l'information sur l'historique du contenu, il est souvent utilisé dans l'agroalimentaire car il est capable de surveiller l'aliment et donner des informations à l'entreprise et au consommateur sur la qualité du produit.

D'où nous sommes poussés à développer dans notre travail une recherche qui a pour objectif d'étudier l'importance de l'internet des objets sur la traçabilité.

Dans cette problématique, nous avons élaboré une maquette qui permet de communiquer sur l'état du produit en temps réel.

Après cette introduction, nous présenterons le chapitre 1 qui est consacré à la définition et l'historique de la traçabilité en temps réel en nous basant sur les contextes fondamentaux de la traçabilité, plus précisément nous présentons dans ce chapitre un aperçu sur les deux grands volets de traçabilité et par la suite les différents outils de traçabilité, et dans une deuxième partie en nous aborderons la chaîne logistique et leurs types et stratégies. Ensuite dans le chapitre 2 nous étudions l'internet des objets et la technologie RFID l'objectif essentiel est de minimiser les pertes agroalimentaires.

Finalement le chapitre 3 est spécialement consacré à notre apport scientifique pour montrer une maquette permettra de faire la traçabilité en temps réel afin de minimiser les pertes dans le domaine agroalimentaire, et pour la réalisation d'une base des données et une interface de site web.

Enfin, nous clôturons ce mémoire par une conclusion général en présentant un bilan de notre travail et des perspectives.

# **I. Chapitre 1**

## **Généralités sur la traçabilité et la chaine logistique**

## Introduction

Ces dernières années, la traçabilité est devenue une question vitale pour l'industrie et un élément clé des systèmes de gestion de la production, qualité et diagnostics.

Répondant aux exigences d'un nouvel environnement commercial mondial (mondialisation des marchés et actualités technologiques de l'information et de la communication, aujourd'hui, il est nécessaire de développer des méthodes et des outils de traçabilité adaptés), suite à cela, nous publions un problème de recherche dont l'objectif est d'exploiter différentes informations, enregistrées et suivies dans le cycle de vie du produit (les étapes de fabrication, conditionnement et expédition).

Dans les domaines de la production et de la logistique, la traçabilité vise à suivre les marchandises le long d'une chaîne d'approvisionnement et de transformations, par l'utilisation de divers moyens d'identification, tels que des numéros de lots ou différentes données associées, il permet de localiser, sur son parcours, un article qui a été expédié, et inversement, il offre au consommateur final la possibilité de trouver l'origine des produits, la traçabilité est une obligation pour les entreprises, elle pose des problèmes très importants pour les secteurs dans lesquels des défauts de production peuvent avoir des conséquences graves pour la sécurité des personnes en matière de santé et de sécurité (aliments, médicaments, automobiles, ordinateurs, aéronautique).

La traçabilité joue un rôle essentiel dans la qualité : elle permet d'agir correctement pour assurer la conformité du produit et effectuer une analyse des problèmes en amont et en aval du processus de fabrication, afin de mettre en œuvre des actions préventives, il est utilisé, par exemple, pour prévenir les risques liés aux produits agroalimentaires, pour faire face aux éventuels médicaments contrefaits ou pour garantir l'innocuité de tous les types de produits, de plus, la traçabilité devient une préoccupation croissante pour les consommateurs, qui veulent s'assurer que le produit acquis ne comporte pas d'éléments contraires à leurs codes éthiques et moraux.

Aujourd'hui, la traçabilité est davantage perçue comme une contrainte à respecter que comme un outil permettant plus de contrôle et d'amélioration des processus, dans ce projet de recherche, nous présentons des arguments pour modifier ce point de vue, nous proposons le diagnostic d'une production par l'exploitation des informations de traçabilité.

## Organisation du chapitre

Dans ce premier chapitre, nous examinerons les généralités autour de la traçabilité et de la chaîne logistique, l'objectif principal est d'exploiter les informations de traçabilité pour améliorer les choix de production et de logistique, nous souhaitons commencer par une introduction formelle à la notion de traçabilité, en abordant ses récents développements, ses enjeux et le problème industriel qui l'entoure, nous proposerons ensuite un état de l'art sur les systèmes informatiques de traçabilité et d'identification, ensuite, nous définirons ultérieurement les informations que nous souhaitons exploiter, c'est-à-dire la traçabilité des

entités fondamentales associées et le flux d'informations qui leur est associé tout au long du cycle de production.

Dans la deuxième partie nous situons la chaîne logistique avec ses stratégies et ses types en focalisant sur le conditionnement et la gestion de stock de la matière première et le produit fini. Ensuite, nous concluons ce chapitre par une conclusion aborde l'utilité et l'intérêt de la traçabilité et de la chaîne logistique.

# 1- Traçabilité

## 1.1 Définition de traçabilité

Selon le dictionnaire Webster :

**Définition 1** : « La *Traçabilité* est la capacité de suivre ou d'étudier en détail, ou étape par étape, l'historique d'une activité ou d'un processus donné ».

Ainsi, la *Traçabilité* peut être définie comme l'historique d'un produit en termes de propriétés directes de ce produit et / ou de propriétés associées à ce produit une fois que ces produits ont été soumis à des processus particuliers à valeur ajoutée utilisant des moyens de production associés et respectueux de l'environnement, conditions. (**Définition 2**) [1].

La traçabilité est définie par la norme ISO 8402 1991 « Gestion de la qualité et l'assurance de la qualité » (réactualisée par la norme ISO 9000/2005) :

**Définition 3** : *Traçabilité* : aptitude à retrouver l'historique, l'utilisation ou la localisation d'une entité au moyen d'identifications enregistrées.

L'entité peut désigner : un processus, un produit, une personne ou un organisme. Lorsqu'il se rapporte à un produit, le terme « traçabilité » peut se référer à l'origine des matériaux et des pièces, l'historique des processus appliqués au produit, la distribution et l'emplacement du produit après livraison [1].

Du point de vue de l'utilisateur, la traçabilité peut être définie comme le fait de suivre des produits qualitativement et quantitativement dans l'espace et dans le temps, du point de vue de la gestion de l'information, la mise en place d'un système de traçabilité dans une chaîne logistique consiste à associer systématiquement un flux d'informations à un flux physique, l'objectif est de pouvoir retrouver, à un moment donné, des informations, préalablement déterminées, relatives à des lots ou groupes de produits, ceci à partir d'un ou plusieurs identifiants.

Dans les systèmes de traçabilité, souvent appelés « tracking and tracing », deux types peuvent être distinguées : la traçabilité logistique et la traçabilité produit). Le premier est le « tracking », et le deuxième est le « tracing » :

**La traçabilité logistique** : signifie le suivi quantitatif des produits. Elle permet de déterminer les destinations et les provenances et localiser les produits, elle est notamment utilisée pour les rappels et les retraits de produits et / ou pour en connaître l'origine. Cette traçabilité dépend du bon enregistrement des liens entre les produits consécutifs du secteur.

**La traçabilité des produits** : fait référence au suivi qualitatif des produits. Les fabricants l'utilisent pour rechercher les causes d'un problème de qualité, qu'il soit en amont, si l'incident s'est produit chez ses fournisseurs, ou en aval, si l'incident aurait pu se produire pendant le



transport, par exemple, cela dépend principalement de l'enregistrement correct et de l'exhaustivité des données associées au produit.

### 1.1.1 Traçabilité amont, interne et aval

La traçabilité se traduit à différentes échelles dans la chaîne logistique comme il est montré dans la Figure 1.

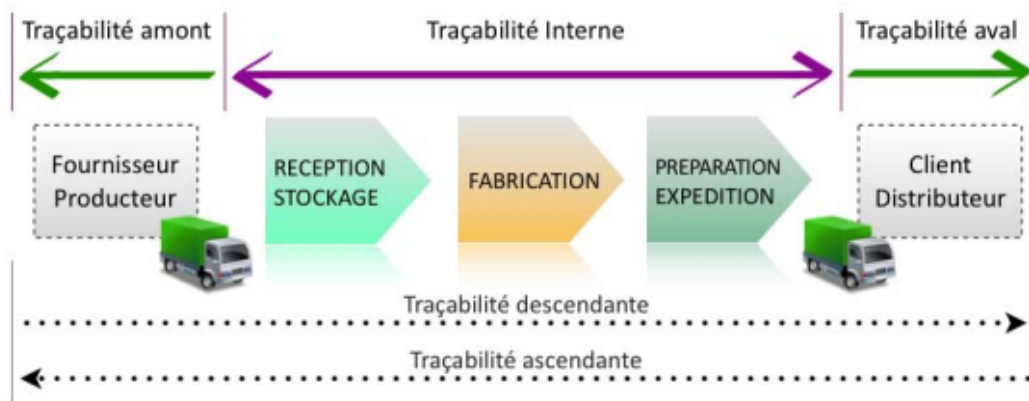


Figure 0-1 traçabilité amont, interne et aval dans la chaîne logistique.

**La traçabilité interne** désigne les procédures, les ressources et les outils mis en place tout au long de la transformation effectuée par l'acteur sur ses produits, elle est indépendante des partenaires commerciaux.

**La traçabilité amont** désigne les procédures et les outils mis en place, pour pouvoir retrouver ce qui est arrivé avant la réception des produits (avant que les acteurs soient responsables légalement ou physiquement des produits).

**Traçabilité aval** désigne les procédures et les outils mis en place pour pouvoir retrouver ce qui s'est passé après le transfert de propriété ou après le transfert physique des produits d'un acteur vers un autre.

### 1.1.2 Traçabilité ascendante et descendante

Selon le sens dans lequel l'information est suivie, nous pouvons parler de traçabilité ascendante ou descendante (Figure 1).

**La traçabilité ascendante** permet de rechercher l'origine et les caractéristiques d'un produit à partir d'un ou de plusieurs critères donnés, il est notamment utilisé pour rechercher la cause d'un problème (qualité, sécurité, conformité).

Elle est la capacité, à n'importe quel point de la chaîne d'approvisionnement, de retracer l'origine et les caractéristiques d'un produit à partir d'un ou de plusieurs critères donnés, il sert notamment à trouver la cause d'un problème de qualité [2].

**La traçabilité descendante** permet, à tout moment de la chaîne d'approvisionnement, de localiser les produits en fonction d'un ou de plusieurs critères donnés, il est utilisé notamment dans un rappel ou un retrait de produit, elle est la capacité, à n'importe quel point de la chaîne

d'approvisionnement, de trouver l'emplacement des produits en fonction d'un ou de plusieurs critères donnés, il est utilisé notamment en cas de rappel et de retrait de produit [2].

### 1.2 Problématique industrielle globale

#### 1.2.1 Traçabilité : un sujet et une obligation d'actualité

Depuis la crise de l'encéphalopathie spongiforme bovine (ESB) également appelée « maladie de la vache folle » qui a touché principalement le Royaume-Uni entre 1986 et les années 2000, le terme traçabilité a pris une importance médiatique considérable, cette médiatisation s'est accentuée depuis 1999, avec les polémiques aux sujets des organismes génétiquement modifiés (OGM), du « poulet à la dioxine » et de l'affaire du sang contaminé, ces crises sont encore d'actualité, avec la réapparition de la « grippe aviaire » qui a atteint l'Europe fin 2005 et l'apparition de plusieurs intoxications, dues à la présence de la bactérie « E.coli » en 2011, cette dernière a remis la traçabilité au cœur de l'actualité, l'Organisation mondiale de la santé (OMS) recense en juin un total de 3255 cas de malades confirmés ou suspects, dont 35 décès en Europe et aux États-Unis [3].

Cet impact médiatique s'élargit dans d'autres domaines où la traçabilité joue un rôle de plus en plus important, dans l'industrie automobile, le constructeur japonais Toyota a rappelé près de neuf millions de voitures dans le monde, dont la majorité aux États-Unis, entre septembre 2009 et février 2010 pour divers soucis techniques [4].

Les consommateurs d'aujourd'hui prennent conscience du concept de traçabilité dans plusieurs domaines : agroalimentaire, santé, automobile, aéronautique, cosmétique, textile, des nombreuses entreprises, confrontées à cette prise de conscience et aux préoccupations des consommateurs / clients cherchent à acquérir des outils puissants pour des raisons autres que purement logistiques : confiance du consommateur, contraintes réglementaires et légales, normalisation, rappel de produits défectueux, commerce électronique, nous assistons de ce fait à une présence de plus en plus importante, systèmes de traçabilité dans les technologies de l'information et de la communication (TIC), la production zéro défaut est toujours inaccessible pour les industries manufacturières, mais pour réduire l'impact financier de la non-qualité, un système de traçabilité centralisé facilite les procédures de rappel et la reconstruction de l'historique de chaque pièce fabriquée.

La traçabilité est une exigence réglementaire, dans l'Union européenne, nous trouvons le règlement 178/2002 / CE établissant les exigences générales en matière de sécurité alimentaire, le règlement 1830/2003 / CE1 sur les organismes génétiquement modifiés et leurs dérivés, la directive 2004/27 / CE sur les organismes génétiquement modifiés, produits pharmaceutiques, directive 2006/24 / CE sur les communications et les réseaux, résolutions R 740 et R 780 définies par l'Association du transport aérien international (IATA) pour le transport de passagers et de leurs bagages, contrairement aux domaines mentionnés ci-dessus, dans l'industrie manufacturière, il n'y a pas de règles strictes en matière de traçabilité, ce sont généralement les groupes industriels (Odette et GALIA pour l'industrie automobile, par exemple) qui standardisent leur gestion de la traçabilité [5], En général, ces normalisations indiquent le format, les informations et les capacités de lecture des éléments d'identification des lots de composants ou numéros de série des pièces [3].

Le premier objectif de la traçabilité pour l'Union européenne est de garantir le libre échange et de garantir la libre circulation des biens et des personnes, le considérant n ° 1 du règlement 2002/178 / CN rappelle cet objectif prioritaire du libre-échange, selon lequel la traçabilité a une fonction ambivalente vis-à-vis de la libre circulation des marchandises [6] : Il renforce la liberté de circulation s'il est efficace et efficient, car c'est un outil de sécurité des produits qui permet d'organiser des retraits de lots "précis et ciblés" afin de limiter les perturbations des échanges.

Son absence est susceptible de remettre en cause cette libre circulation car elle ne le permet pas, il n'est pas possible de garantir la sécurité des produits ou de gérer sereinement des situations de crise [7].

C'est donc un outil efficace pour optimiser le fonctionnement et la performance des entreprises, les systèmes de traçabilité doivent être des outils Identifier les défauts du processus, identifier rapidement les causes d'un problème, dysfonctionnement, optimiser l'organisation grâce aux indicateurs de performance fiable (respect des charges, logistique interne, lutte contre la contrefaçon), et bien sûr, gérer efficacement la traçabilité, déclinée sous de nombreuses formes, deviendra incontournable pour toutes les entreprises [8].

### 1.2.2 Historique

La définition actuelle de la traçabilité est apparue au milieu des années 80 [9], la traçabilité était alors un simple souci logistique : le contrôle de flux marchandises dans une chaîne de partenaires, mais la notion d'éléments de marquage et de surveillance est beaucoup plus ancienne.

#### 1.2.2.1 Antiquité et âge préindustriel

La plus ancienne preuve de traçabilité remonte au Ve millénaire av. dans les civilisations élamite et sumérienne, un grand nombre de dons faits aux temples étaient accompagnés d'une marque d'identification, cette marque était faite sur une tablette d'argile ou sur les vaisseaux du cou en utilisant un cylindre gravé qui le donneur a utilisé comme signature [10].

Dans l'antiquité nous pouvons identifier la traçabilité des actes, attestée par les sceaux notamment.

La traçabilité des animaux est également connue des éleveurs, des propriétaires d'animaux et des autorités sanitaires depuis des milliers d'années. Ainsi, l'identification du corps était déjà réglementée par le Code Hammurabi en Mésopotamie il y a environ 3 800 ans [7], le marquage indélébile au fer rouge, ou par des marques sur les oreilles (le bec des oiseaux parfois) avec ou sans écritures attestant les caractéristiques de l'animal, semble avoir été pratiqué un peu partout dans l'Antiquité, du moins pour les animaux de marché, valeur religieuse ou militaire [3].

Au Moyen Âge, des marquages sanitaires accompagnés de certificats étaient utilisés pour contrer ou limiter les épidémies (peste bovine, peste humaine du XIVe siècle, péripneumonie contagieuse bovine, glanders, rage), avec des peines sévères pour les infractions, en France, un jugement du conseil du roi du 16 juillet 1784 exigea le marquage des animaux "suspectés de maladies morveuses ou contagieuses telles que l'anthrax, la gale, la variole ovine, la rage et

la rage", l'animal douteux ou malade devait porter sur le front un timbre de cire verte portant les mots "animal suspect", ces animaux sont entraînés et verrouillés les uns des autres [7].

### 1.2.2.2 XXe siècle et aujourd'hui

Au XXe siècle, la traçabilité a d'abord été développée pour répondre au modèle fordiste de production de masse, et en particulier aux besoins de normalisation industrielle et agro-industrielle générés par les besoins de reconstruction et de mondialisation d'après-guerre, le concept de traçabilité passe par la généralisation de la notion de numéro de série puis déclinée en code barre ou dans des dispositifs similaires, éventuellement invisibles, tels que des codes magnétiques, ou des copeaux inclus dans le bois, dans un produit ou un animal vivant, en fait, l'arrivée de la production en série de produits s'est accompagnée d'une possibilité de fraude à grande échelle [11].

Les principes de base de la traçabilité des produits, tels que nous les connaissons, ont été introduits dans les années 1970 [12], Aujourd'hui, avec la révolution des technologies de l'information et de la communication (TIC), la traçabilité a révolutionné, ce phénomène a été étudié par plusieurs auteurs [13], et elle s'est mise au service de la démarche qualité, de la lutte contre la fraude internationale et évolue maintenant vers une surveillance individualisée des produits.

### 1.2.3 Enjeux de la traçabilité aujourd'hui

La demande de traçabilité provient le plus souvent de l'extérieur de la société à orientation restreinte, combinant le plus souvent des obligations législatives avec des contraintes imposées par les clients, eux-mêmes soumis à une obligation réglementaire de traçabilité à leur niveau, mais plus qu'une contrainte, la traçabilité est au cœur de plusieurs enjeux stratégiques au sein d'une entreprise, cependant, la mise en œuvre d'un système de traçabilité est construite selon plusieurs critères tels que sa fiabilité, sa précision et sa rapidité de mise en œuvre, la mise en œuvre d'un système de traçabilité offre de nombreux avantages résumés dans le tableau 1 [14].

DOMAINE	ENJEUX
Logistique	Rationaliser les processus liés aux flux logistiques. Optimiser la gestion des stocks. Suivre le transport et les livraisons en temps réel. Identifier les circuits de distribution parallèle
Sécurité Sanitaire	Effectuer les retraits et rappels de produits de manière rapide et ciblée. Suivre des effets à long terme.
Production et qualité	Trouver la cause des différences de qualité. Prouver les allégations pour identification. Satisfaire aux exigences de certification des produits. Optimiser le processus de production.

<b>Affaires Juridiques</b>	Respecter la réglementation. Aider à déterminer les responsabilités. Aider à lutter contre la fraude
<b>Marketing</b>	Protéger l'image de marque. Améliorer le service au client (SAV, téléphonie). Donner une valeur ajoutée au produit (avantage concurrentiel).

Tableau 0-1 enjeux de la traçabilité

### 1.2.4 Mondialisation et diversité des chaînes logistiques

Avec la mondialisation de l'économie, les secteurs sont devenus plus longs et plus complexes, de plus en plus d'entités entrent en jeu : des acteurs de taille et de structure variables, dans ce nouvel environnement, les canaux de distribution se sont diversifiés (supermarchés, mini-boutiques, commerce électronique) et cette complexité des chaînes d'approvisionnement accroît l'impact en cas d'"incident de qualité", l'importance de la mise en place de moyens de transformation et de distribution sécurisés, de plus, la succession de tous ces liens indépendants augmente la dispersion des produits finis ainsi que le risque de perte d'informations, voire de rupture dans la chaîne d'information, de plus, la production sans gaspillage, les tendances et les évolutions du transport et les techniques logistiques telles que GPA (inventaire géré par le vendeur) ou la reconstitution prévisionnelle de la planification collaborative (CPFR) aide à réduire le délai entre la fabrication et la vente des produits [2].

### 1.2.5 Acteurs de la traçabilité

Les principaux acteurs de la traçabilité sont le fournisseur, le consommateur et l'État [15], aujourd'hui, un quatrième acteur est intervenu : les médias, qui jouent un rôle important dans le processus de traçabilité puisqu'ils permettent de relayer les messages de la marque au public [16].

Par conséquent, dès qu'un sujet touche à la sécurité des personnes via une entité, l'État intervient et les médias en relayent les causes et les conséquences, la figure 2 donne un aperçu des fondements de cette coopération institutionnelle.

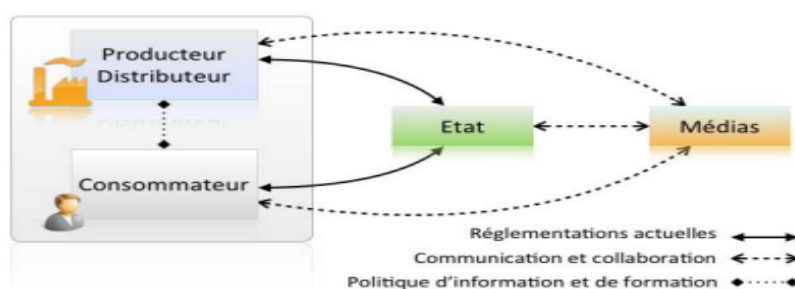


Figure 0-2 les acteurs de la traçabilité.

Le producteur / distributeur est là pour fournir un produit au consommateur, qui le demande, la fonction de l'État est de dicter les règles aux fournisseurs et de contrôler leur application, afin de protéger le consommateur contre tout abus, les médias se présentent comme des observateurs dans le but de transmettre tout dysfonctionnement et d'informer les autres acteurs de manière globale et immédiate, il semble intéressant de revenir au concept traditionnel de traçabilité du coupable, focalisée sur le rappel du produit, où le consommateur

est rassuré par la capacité du producteur / distributeur à retirer les produits non conformes et à passer cette campagne en amont [16].

### 1.2.6 La relation fournisseur / consommateur

Le marché agroalimentaire est soumis à un paradoxe en croissance. D'une part, les producteurs de produits alimentaires accordent de plus en plus d'attention aux avantages de la réduction des coûts, d'autre part, les aliments deviennent de plus en plus une source de risque pour la santé du point de vue des consommateurs mieux informés et plus attentifs, ce paradoxe explique le processus d'"amplification sociale" lorsque le système d'information est déficient [17].

### 1.3 Système de traçabilité

Nous adoptons la définition de Viruégua [9], que nous présentons par la suite :

Le système de traçabilité a la fonction d'identifier les entités de l'organisation industrielle et d'informer la structure de pilotage de l'état de ces entités, il permet donc de relier un produit à son environnement (historique de matières premières et de fabrication, destinations) par des actions de lecture, de marquage et d'enregistrement, et ainsi de créer des liens informationnels. (Définition 4).

Lorsqu'il s'intègre dans un système de production, le système de traçabilité permet de tracer une entité choisie, et la bonne exploitation de ses informations permet de maîtriser a posteriori et parfois a priori les risques et la qualité de l'entité, la figure 3 montre la structure de cette opération.

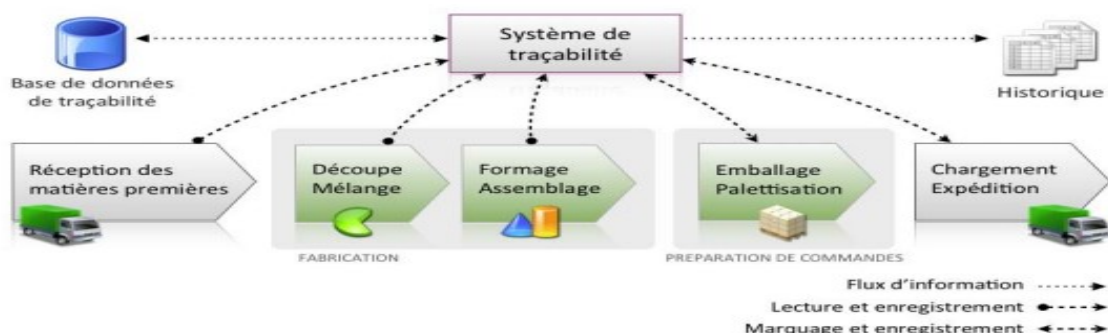


Figure 0-3 schéma fonctionnel d'un système de traçabilité.

Par exemple, dans le domaine agro-alimentaire, le système de traçabilité assure la connaissance des fournisseurs des matières premières et de lots, la quantité de lot des matières premières et des produits finis, particulièrement, la bonne exploitation de ces informations permet une optimisation de la dispersion des matières premières.

Un système de traçabilité est principalement composé d'une organisation dans la structure (des actions à réaliser au cours de la production) et d'un système d'information, pour enregistrer les données nécessaires à la constitution de l'historique des produits, par une base de données relationnelle, un système efficace capable de transmettre des informations produit précises, à jour, complètes et cohérentes tout au long de la chaîne d'approvisionnement peut réduire considérablement les coûts d'exploitation et augmenter la productivité [18].

### 1.4 Etat de l'art des outils de traçabilité [8]

Chaque système de traçabilité repose sur deux points fondamentaux : l'identification du produit et le système d'enregistrement et de gestion de l'information, les moyens d'identification existants peuvent être sous forme littérale, numérique, alphanumérique, code à barres ou radiofréquence [8], L'identifiant est enregistré directement sur le conteneur et sur ses produits, lors de l'utilisation de la radiofréquence et des codes à barres, il est nécessaire de respecter les normes de codage GS1.

Les outils d'enregistrement, quant à eux, permettent d'enregistrer, de stocker, de créer des liens et d'archiver les données, afin de pouvoir accéder à tout moment aux informations de traçabilité d'un produit ou d'un lot.

Cette problématique se découpe en trois parties :

- Soutenir un suivi continu des informations de traçabilité à la réception et la mise en magasin des matières premières, de même, gérer les stocks, les procédures de "fournisseur de retour" et les mouvements de stock internes ;
- Permettre la traçabilité et le contrôle des processus de préparation des commandes, d'emballage et d'expédition ;
- Soutenir un suivi continu des informations de traçabilité à la livraison jusqu'au détaillant et consommateur ;

Donc le système de traçabilité doit assurer la synchronisation des données, mais cela n'est efficace que lorsque les bases de données de traçabilité sont renseignées en temps réel, suite à cette observation, pour pouvoir synchroniser le flux de biens / produits et les informations associées, il est essentiel d'utiliser des outils informatiques puissants, aujourd'hui, la traçabilité du papier n'est plus une option fiable [19].

#### 1.4.1 Systèmes informatiques de traçabilité

Nous remarquons deux familles de systèmes informatiques : la première consiste à utiliser des tableurs personnalisés (avec calcul automatique ou traitement statistique des données) dont les utilisateurs sécurisent eux-mêmes les formules et effectuent des sauvegardes régulières, la deuxième famille correspond aux progiciels commercialisés offrant l'intégration d'informations de traçabilité, parmi lesquels six types principaux sont identifiés [8] :

- **ERP** (Enterprise Resource Planning) : ce sont des progiciels qui utilisent une base de données centralisée avec des mises à jour en temps réel, typiquement ERP gère les modules de production, achat-vente, relations partenaires / tiers, business, comptabilité, ressources humaines [3] ;
- **SCE** (Supply Chain Execution) : gère les clients en termes de préparation, et permettre la planification du transport et de production [3] ;
- **WMS** (Warehouse Management System) : Ces systèmes sont dédiés à la gestion d'entrepôt. Ils permettent de gérer les temps de traitement des flux d'entrepôt entrants et sortants, ainsi que la validation en temps réel des mouvements tout en évitant le déphasage et la désynchronisation des stocks, ils gèrent également la gestion des différents statuts du stock (disponible à la vente (AVS) / bloqué pour contrôle

technique ou contrôle de la qualité / retour client / produit non conforme à détruire) [3] ;

- **TMS** (Transport Management System) : ces progiciels de gestion logistique permettent un suivi en temps réel des chargements et des moyens de transport, ils permettent la planification et la gestion des circuits et systèmes de distribution, ainsi que la gestion des coûts et des délais associés [3] ;
- **MES** (Manufacturing Execution System) : ces systèmes fournissent des informations pertinentes en temps réel sur l'exécution des ordres de fabrication, afin de les contrôler avec précision tout au long du processus [3] ;
- **AOM** (Advance Order Management) : ils permettent une gestion appropriée du traitement de la commande en fonction des règles de livraison (par exemple, livraison directe au fournisseur ou livraison depuis l'un des entrepôts du système logistique en place) [3] ;
- **Progiciels dédiés à la traçabilité** : ils sont souvent adaptés à la TPE / PME et répondent aux exigences réglementaires en matière de traçabilité pour chaque secteur, ils proposent généralement trois modules "réception", "production" et "expédition", chacun gérant l'enregistrement, l'identification du produit / CPU (unités de conditionnement) / UL (unités logistiques) et permettant l'écriture de rapports [3] ;

Il semble important de noter que les supports ERP, SCE, WMS et TMS sont pris en charge dès le moment où les produits sont emballés et prêts à être expédiés, de ce fait, ils tracent plus l'emballage que le produit, les flux les amenant parfois à séparer et/à reconditionner les produits, rendant les données de traçabilité logistique inutilisables en cas de crise de qualité [5].

Les différents systèmes peuvent toutefois fonctionner ensemble, généralement l'ERP intervient en amont de la production, à la réception du matériel, et en aval, tout au long du processus d'emballage, de palettisation, de stockage et de livraison, l'ERP gère la référence commerciale [11].

Généralement, le MES est inséré entre l'amont et l'aval puisqu'il gère le suivi de la production au niveau de l'atelier, le MES gère la fabrication et les composants de référence, le support de la traçabilité interne est souvent constitué par le lien entre l'ordre de fabrication (OF, attaché à une ou plusieurs lignes de fabrication) et les stocks. De ce fait, un lien entre l'ERP et le MES ou le logiciel de traçabilité dédié est essentiel [20] .

Enfin, une solution MES ou une solution de traçabilité dédiée doit fournir des outils puissants, non seulement pour la gestion des rapports, mais également pour la navigation dans les données de traçabilité, les lacunes en termes de qualité et même de risques sont courantes (GS1, 2011), et la traçabilité doit devenir un outil quotidien pour les équipes qualité et support client. Une solution qui rassemblerait les détails, mais qui restaurerait les données de manière partielle ou trop compliquée, ne révélerait pas le pouvoir d'une bonne gestion de la traçabilité [3].

La réglementation (notamment le règlement 178/2002/CE et les normes ISO 22000 et ISO 22005) : insiste sur l'obligation de résultat et pas de moyen, les systèmes de traçabilité doivent être soumis à des audits réguliers pour contrôler leur efficacité.



### 1.4.2 Les outils pour un système de traçabilité

Tout système de traçabilité repose sur deux entités fondamentales :

- Un système d'identification physique des lots, par exemple par étiquettes code à barre ou puces électroniques, cette identification permet de distinguer de façon univoque le lot dans l'atelier et le stock ;
- Un système d'information, qu'il soit informatique ou papier, qui garde l'historique des enregistrements sur les lots de produits, ce système stocke l'information et la restitue avec des requêtes de traçabilité ;

### 1.4.3 Systèmes d'identification

#### 1.4.3.1 L'identifiant du lot

Du plus simple au plus compliqué, de nombreux systèmes permettent l'identification physique des lots :

- Etiquette manuscrite ;
- Boucles d'oreilles pour les animaux ;
- Marquage des produits ;
- Etiquette code à barre ;
- Impression sur des cartons ou palettes ;
- Puces RFID (Radio Frequency Identification);

Le principe de base est toujours d'identifier le lot afin unique, généralement par le biais d'un code également appelé numéro de lot.

Pour la plupart des échanges entre entreprises (produits finis), les lots sont identifiés avec une identification avec des informations génériques

- Nom de l'article ;
- Date(s) (de production, conditionnement, vente et/ou date limite de consommation, ...) ;
- N° de lot ;
- Nom et adresse du producteur, distributeur, revendeur ou exportateur ;
- Pays d'origine ;

Morrison et Blanchfield [2000] indiquent que la date limite de Consommation (DLC) ou date limite d'utilisation optimale (UOL) peut être suffisant pour identifier un lot, en particulier pour produits extra frais avec une date de péremption courte, il précise De plus, pour les produits dont la date de péremption est plus longue (telle que la semaine), il est important d'affiner l'identification des lots afin de réduire les rappels potentiels, il offre un exemple d'un certain nombre de lot [21].

#### 1.4.3.2 Systèmes d'identification

Dans son application industrielle, la notion de traçabilité est souvent associée au débat sur les moyens d'identification (ou de marquage), identifier les produits est nécessaire, mais cela ne suffit pas pour justifier une gestion efficace de la traçabilité, les systèmes de marquage et la

multiplication des numéros d'identification ne doivent pas être le seul point de référence en matière de traçabilité [5].

Donc il est important de différencier le système de traçabilité qui gère les informations et les moyens d'identification permettant de différencier les produits traçables ou les unités de ressources.

Dans les technologies d'identification automatique, diverses solutions sont utilisées avec succès depuis une trentaine d'années, parmi les techniques les plus courantes, nous distinguons les codes à barres, les codes matriciels (également appelés codes bidimensionnels ou codes 2D), les étiquettes RFID, OCR (Optical Character Recognition), les bandes magnétiques, etc.

Le tableau 2 présente des comparaisons entre les codes à barres, les codes de matrice et les étiquettes RFID, qui sont aujourd'hui les solutions les plus utilisées.

	<b>CODES A BARRES</b>	<b>ETIQUETTES RFID</b>	<b>CODES MATRICIELS</b>
<b>Avantages</b>	Langage universel, interopérabilité dans le monde entier entre clients et fournisseurs, tant au niveau des outils d'impression que de lecture. Génération/reproduction simple. Faible coût de génération	-Lecture/écriture sans contact. Possibilité de lecture simultanée. -Fiabilité (les informations peuvent être doublées, munies d'identifiants de sécurité). -Possibilité de compléter/réécrire les données (évolution du contenu)	-Capacité importante. -Très haute densité. Possibilité de marquages directs sur les produits/pièces. - Génération/reproduction simple. -Faible coût de génération.
<b>Contraintes</b>	-Etiquette non réinscriptible. -Capacité de mémorisation limitée. Pas de lecture à l'œil nu. -Usage soumis à des exigences physiques (taille et forme du support, couleur de fond).	Coût plus important. Pas de lecture à l'œil nu. Possibilité de perturbation du signal radio. Traitement des déchets nécessaire (gestion du recyclage des puces). Déclaration obligatoire des puces (protection des consommateurs).	Etiquette non réinscriptible. Lecteur/décodeur spécifique. Pas de lecture à l'œil nu. Usage soumis à des exigences physiques (taille et forme du support, couleur de fond).
<b>Distance de lecture</b>	0 à 500 mètres	Volume d'environ 1m <sup>3</sup> .	0,15 à 1 mètre.
<b>Systèmes de lecture</b>	Lecteurs et décodeurs (lecture en poste fixe).	Antennes et décodeurs.	Lecteurs et décodeurs.
<b>Exemples d'application</b>	-Produits de consommation de masse. -Unités de conditionnement (cartons et palettes).	Cartes bancaires, conteneurs de médicaments, conditionnement en parfumerie.	Pièces détachées automobiles, circuits imprimés, emballages pharmaceutiques, paquets postaux.

Tableau 0-2 Comparatif entre les principales solutions d'identification (sources : Ngai et al, 2008 ; Larose et al., 2010 ; Gencod-EAN, 2001).

### 1.5 Eléments à tracer et informations associées

Pour assurer un réel suivi des produits et des activités, il est nécessaire de connaître le numéro de lot du produit fabriqué pour lui associer séparément les informations le constituant, sans cette identification, le système de traçabilité ne peut enregistrer que les horodatages des

matériaux et des composants sans les associer à des produits, ce qui rend les informations complexes et incertaines, les fabricants doivent donc détecter les entités à identifier, ainsi que les informations qu'ils voudront associer.

Les concepts (ou entités) de base de la traçabilité sont les deux suivants : l'activité primaire et l'unité de ressource traçable TRU (en anglais : primitive activity et traceable resource unit) [22].

### 1.5.1 Informations de traçabilité

Dans les systèmes de traçabilité, qu'il s'agisse d'une traçabilité interne, amont ou aval, on distingue deux types d'informations : "statique" et "dynamique", les informations statiques sont des informations invariables et indépendantes de l'activité quotidienne (par exemple, le code d'article ou le code GTIN), les informations dynamiques, quant à elles, sont liées à chaque transaction (changement d'acteur responsable dans la chaîne d'approvisionnement) et à la fabrication, ils ne peuvent pas être générés à l'avance (par exemple, numéros de série, numéros de lot, dates d'expiration) [3].

Le système de traçabilité doit structurer toutes les données observables ou calculables pendant les transferts, la production et les cycles de vie du produit, afin de structurer les historiques sur la base des informations statiques et dynamiques, ces informations sont amplifiées, modifiées et augmentées dans l'ensemble du système de production, la figure 4 montre la circulation de ces informations à travers les différentes étapes et services du cycle de production.

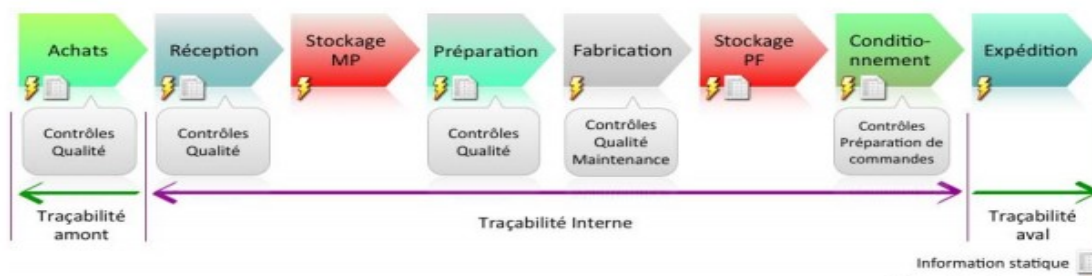


Figure 0-4 informations de traçabilité.

Dans les Tableaux 3, 4 et 5, nous présentons une synthèse et une généralisation des informations à traiter pour une traçabilité interne optimale, avec un premier degré d'intégration en amont et en aval.

SERVICE	DONNEES A MAINTENIR A JOUR / A TRACER	TYPE
ACHATS - QUALITE	<ul style="list-style-type: none"> <li>Liste des fournisseurs avec références des produits achetés.</li> <li>Fiches techniques et de données de sécurité.</li> <li>Procédure de référencement des fournisseurs de Matières Premières (MP) et de Matériaux d'Emballages (ME).</li> <li>Evaluation des MP et ME et hiérarchisation des risques.</li> <li>Liste des auxiliaires technologiques (lubrifiants de machines, colles, encres).</li> <li>Test de traçabilité sur les MP et ME livrés au client : évaluation de la réactivité et de la fiabilité par rapport à un incident sur une matière.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Statique</li> <li>Statique</li> <li>Statique</li> <li>Dynamique</li> <li>Statique</li> <li>N/A</li> </ul>

Tableau 0-3 Liste des informations à tracer (en amont). Sources : Chi-Dung Ta, 2002 et AFNOR, 2009.

<b>RECEPTION</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Procédure de réception des MP, des ME et des auxiliaires technologiques.</li> <li>• Fiche de suivi qualité des transporteurs.</li> <li>• Bons de livraison fournisseurs</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dynamique</li> <li>• Dynamique</li> <li>• Statique</li> </ul>
<b>STOCKAGE</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Indication de l'état des palettes ou des produits.</li> <li>• Identification.</li> <li>• Conditions de stockage des MP et ME</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dynamique</li> <li>• Dynamique</li> <li>• Dynamique</li> </ul>
<b>QUALITE</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Plans de contrôles à réception, procédure d'échantillonnage.</li> <li>• Enregistrement des contrôles de MP et ME</li> <li>• Métrologie du matériel d'analyse</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Statique</li> <li>• Dynamique</li> <li>• Statique</li> </ul>
<b>REPARATION</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Enregistrement de l'utilisation des MP</li> <li>• Archivage des données et des documents</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dynamique</li> <li>• N/A</li> </ul>
<b>FABRICATION</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Enregistrement des diverses étapes de fabrication.</li> <li>• Autocontrôles de fabrication</li> <li>• Enregistrement de contrôle des corps étrangers</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dynamique</li> <li>• Dynamique</li> <li>• Dynamique</li> </ul>
<b>CONDITIONNEMENT</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Procédure de conditionnement</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Statique</li> </ul>
<b>STOCKAGE PRODUITS FINIS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Enregistrement des contrôles en cours de conditionnement.</li> <li>• Etiquetage des Unités de conditionnement</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dynamique</li> <li>• Dynamique</li> </ul>
<b>MAINTENANCE</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Maintenance des équipements de production</li> <li>• Enregistrement lors de l'utilisation de certains auxiliaires technologiques</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dynamique</li> <li>• Dynamique</li> </ul>

Tableau 0-4 Liste des informations à tracer (interne). Sources : Chi-Dung Ta, 2002 et AFNOR, 2009

<b>EXPEDITION</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bordereau d'expédition</li> <li>• Bons de livraison clients</li> <li>• Etiquetage des palettes conforme aux standards et selon les spécifications internes.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dynamique</li> <li>• N/A</li> <li>• Dynamique</li> </ul>
-------------------	---	---

Tableau 0-5 Liste des informations à tracer (en aval). Sources : Chi-Dung Ta, 2002 et AFNOR, 2009.

Selon ce tableau, on pourrait dire que la traçabilité est une succession d'opérations extrêmement sophistiquées mais apparemment très simples, dont l'enchevêtrement augmente avec le nombre d'opérations et de parties prenantes, l'aspect dynamique d'une grande partie de ces informations, de toute évidence un besoin de réactivité aux outils d'analyse, de même, la taille et la complexité des informations sont amplifiées par la richesse de l'information produite à suivre.

## 2- Chaîne logistique

### 2.1 Introduction

Initialement, les applications du terme logistique étaient limitées au contexte militaire et ce n'est pas avant les années 1960 que son apparition est apparue dans la réalité de l'entreprise [23].

Dans les années 50, les organisations ont commencé à examiner les coûts de transport et à chercher des moyens de les réduire [24], dans les années 1960, le terme logistique a été intégré au vocabulaire de l'entreprise ; son application est alors souvent limitée au transport de la marchandise, au fil des ans, les ramifications de la logistique se sont étendues pour traiter le mouvement de la matière dans l'entreprise.

Au début des années 80, le concept de chaîne d'approvisionnement est apparu. Il est donc devenu évident que la performance de l'entreprise dépendait d'actions menées en amont (fournisseurs) ou en aval (réseaux de distribution), encore une fois, au fil des ans, la gestion de la chaîne d'approvisionnement a dépassé le simple mouvement de marchandise pour prendre en compte les activités susceptibles d'avoir une incidence sur la disponibilité d'un produit répondant aux besoins du client.

Aujourd'hui, la chaîne est le carrefour de pratiques issues d'horizons multiples tels que la gestion de la qualité, la conception de produits, le service client ou la gestion de données [25].

### 2.2 Définition de la chaîne d'approvisionnement [26]

La définition de "chaîne d'approvisionnement" englobe les trois fonctions suivantes :

- Fourniture de produits à un fabricant ;
- Processus de fabrication ;
- Distribution de produits finis aux consommateurs par le biais d'un réseau de distributeurs et de détaillants ;

Les entreprises impliquées dans les différentes étapes de ce processus sont liées les unes aux autres par une chaîne d'approvisionnement.

- ❖ La diminution des stocks ;
- ❖ La réduction des coûts ;
- ❖ L'amélioration du choix du moment opportun de commercialisation d'un produit ;
- ❖ L'amélioration de la souplesse ;

Plus les entreprises d'une chaîne d'approvisionnement sont en mesure d'intégrer et de coordonner leurs activités, plus elles ont de chances d'optimiser le flux de produits du fournisseur au consommateur et de répondre efficacement à l'évolution de la demande.

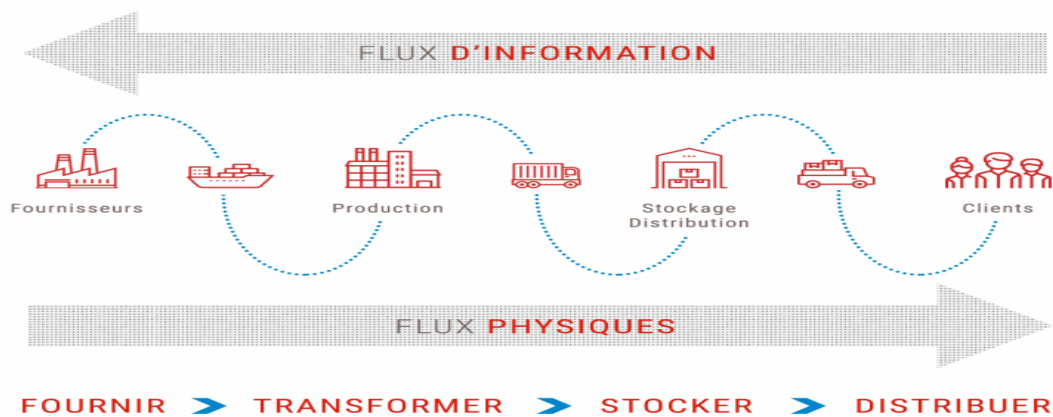


Figure 0-5 chaîne d'approvisionnement

### 2.3 La logistique

À l'origine, il s'agit d'un terme militaire qui désigne l'ensemble des activités menées à l'appui des armées permettant de vivre, de se déplacer, de se battre et d'assurer les évacuations et le traitement médical des combattants, par extension, il s'agit d'un terme économique qui désigne toutes les activités permettant de gérer le flux physique et d'informations au moindre coût, dans le respect des conditions de qualité et de temps ; la logistique comprend la maintenance, gestion des stocks, entreposage, transport, emballage, approvisionnement, techniques du commerce international [27].

### 2.4 La stratégie de chaîne logistique

La chaîne d'approvisionnement est un enjeu stratégique car c'est un avantage concurrentiel, le maintien d'un prix bas n'est pas le seul argument pouvant attirer le client, la rapidité et l'innovation sont également importantes.

### 2.5 Les différents types de la logistique

**2.5.1 Logistique amont** : Activité logistique, y compris la fourniture et le stockage de matières premières, de composants, de produits semi-finis et finis, la préparation de commandes et d'autres services logistiques effectués sur les produits jusqu'à la livraison au transporteur ;

**2.5.2 Logistique aval** : La logistique en aval est composée d'une succession d'activités dont la couverture fonctionnelle va de la réception des produits finis à l'envoi des commandes au client, (Distribution physique) ;

**2.5.3 Logistique interne** : La logistique interne consiste à maximiser les volumes et les modes de stockage en fonction des produits, des contraintes propres au client et des modes de fonctionnement ;

## 2.6 Finalité de la logistique

Les finalités de la Logistique peuvent s'énoncer sous trois aspects : à court terme, à moyen terme et à long terme.

### 2.6.1 A court terme :

Il s'agit d'optimiser les flux physiques, de l'amont à l'aval, ce qui implique :

- ❖ L'exploitation des prévisions commerciales à très court terme et des carnets de commande ;
- ❖ La définition des programmes d'approvisionnement et de production ;
- ❖ La programmation des livraisons ;
- ❖ La régulation de l'après-vente et la distribution des pièces de rechange ;
- ❖ La continuité de l'exploitation par la mise en place d'un plan de maintenance ;

### 2.6.2 A moyen terme :

À l'horizon des plans d'action et des budgets, la logistique vise à :

- ❖ Définir les actions qui contrôlent les coûts logistiques des services que la société a choisi de développer, par exemple : si l'entreprise décide de mettre en place un processus de production basé sur le principe de différenciation différée, la logistique est supposée comprendre et optimiser tous les paramètres de production et de stockage impliqués dans ce type d'organisation ;

- ❖ Conseiller les dirigeants pour leur permettre de choisir les opérations que l'entreprise doit assurer en propre et celles qu'elle a intérêt à sous-traiter ;

- ❖ Contribuer fortement à l'optimisation du coût de l'investissement ou du fonds de roulement de l'entreprise ;

**2.6.3 A long terme :** Dans une perspective de long terme, l'objectif de la logistique consiste à :

- ❖ Aider l'organisation à maîtriser la complexité, l'incertitude et les délais résultant de la multiplication des couples produits-marchés ;

- ❖ Actualiser en permanence la connaissance de l'impact que les aspects logistiques ont sur les coûts d'exploitation des clients et de l'organisation ;

## 2.7 La gestion de la logistique

La logistique a tout ce qui est transporté et le stockage des produits de l'entreprise : véhicules essentiels au transport, fournisseurs de l'entreprise, entrepôts, manutention..., optimisant leur circulation pour minimiser les coûts et les retards, la gestion de la logistique s'applique désormais aux systèmes d'information d'entreprise, pour que cela soit efficace, la société doit idéalement utiliser un codage clair et identique pour chaque fonction de la société et utiliser la télétransmission d'informations [28].

La fonction logistique de la société a pour objectif de coordonner les produits en circulation de manière à assurer une circulation continue des produits (afin de réduire les délais de livraison) et de regrouper les produits (afin de réduire les coûts).

La chaîne d'approvisionnement de l'entreprise gère les flux de la manière la plus efficace possible afin de réduire les principaux coûts suivants : coûts d'approvisionnement, coûts d'expédition, coûts de production, coûts de stockage.

La gestion de logistique s'appuie sur des indicateurs pour mesurer la performance du système en place et détecter les points que lesquels l'entreprise doit progresser, comme par exemple :

- Pour les approvisionnements : taux de disponibilité et délais de livraison ;
- Pour le stockage : suivi de la valeur du stock, des pertes de valeur et de la couverture des stocks ;
- Pour le transport : Coût moyen par produit et taux de remplissage du moyen de transport ;

### 2.8 Les conditions de réalisation d'une chaîne logistique performante

Les conditions utilisées pour réaliser une chaîne logistique performante sont les suivantes :

- La chaîne logistique, lorsqu'elle est bien conçue, est un levier de croissance voire un élément de différenciation vis-à-vis de la concurrence ;
- La chaîne logistique doit être alignée avec les besoins clients ;
- La chaîne logistique se doit d'être en parfait accord avec la stratégie d'entreprise ;

Enfin, la chaîne logistique se doit d'être adaptative, les besoins clients évoluent, les marchés changent constamment, il s'agit d'être réactif au niveau de tous les maillons de la chaîne, un seul angle de vue est à considérer : la performance globale de la chaîne [28] ;

### 2.9 La gestion des stocks

Toute entreprise, quelle que soit son activité, doit veiller à assurer une bonne gestion des stocks, ainsi qu'une efficacité dans la rotation des stocks et la gestion des approvisionnements pour être performante et éviter le surstockage.

Avant de parler de gestion des stocks, il faut commencer par définir le stock :

**Le stock** : Dans une entreprise, les stocks sont composés :

- **Des biens** :(achetés, fabriqués ou en cours de fabrication, destinés à la vente, destinés à être réparés défectueux, destinés à être réparés) ;
- **Des matières premières** :

**Le stockage** : c'est le placement intelligent des stocks afin de pouvoir retrouver facilement un ou des produits précis, le stockage, aussi appelé entreposage, répond à des règles afin de :

- ❖ Garantir le maintien de la marchandise en bon état ;
- ❖ Optimiser l'espace ;
- ❖ Assurer la sécurité des salariés ;

La gestion des stocks est l'ensemble des procédures appliquées par une entreprise pour déterminer la durée de début d'approvisionnement et les quantités à acheter.

La gestion des stocks est indispensable pour répondre au mieux aux demandes des clients.

Un stock doit contenir les articles demandés en quantité adaptée, les responsables des stocks doivent donc connaître :



- Les tendances du marché ;
- Les demandes ;
- Les distributeurs ;
- Les délais de livraison ;

### **2.10 L'intérêt de la logistique dans les entreprises**

La logistique est importante pour tous les acteurs de l'entreprise car elle influence son activité, c'est, dans la plupart des entreprises, une fonction transversale qui concerne l'ensemble des services et permet de les lier le plus efficacement possible.

La logistique est un véritable outil de compétitivité qui a pour but d'améliorer la coordination des services de l'entreprise et de les mobiliser pour poursuivre un objectif commun : la satisfaction des clients. Dans certains secteurs d'activité, la logistique peut constituer un avantage concurrentiel.

L'objectif de la logistique en entreprise porte à la fois sur du court terme (optimisation des flux physiques quotidiens) et sur du moyen à long terme (mise en place de plans d'actions pour optimiser les paramètres de production et de stockage) [29].

## Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les généralités autour de la notion de traçabilité et la chaîne logistique et de notre projet de recherche. L'étude de l'évolution récente de la traçabilité nous permet de conclure qu'elle est au cœur de plusieurs enjeux stratégiques au sein des entreprises.

Dans ce projet, nous nous sommes attachés à élargir la définition de traçabilité aux domaines de la prévision et de la protection, nous avons identifié les concepts de qualité, de sécurité et du risque.

N'importe quel produit fabriqué, porte le nom d'une chaîne logistique, ou étudier chemin pour objectif de gérer les différents flux physique, informatique, ainsi le flux financier sous des coefficients de temps et coûts, dont on a besoin d'optimiser.

## **II. Chapitre 2**

**Internet des objets**

## Inroduction

Depuis la fin des années 1980, Internet a évolué de façon extraordinaire ;La dernière étape, c'est l'utilisation de ce réseau mondial pour la communication avec des objets ou entre objets, développement nommée Internet des Objets (IoT pour Internet of Things) ; L'évolution de l'IoT est assez rapide : depuis 2014, le nombre d'objets connectés est supérieur au nombre d'humains connectés et il est prévu que 50 milliards d'objets seront connectés en 2020 [30].

On commence par donner un aperçu des nombreux types d'applications fournies par Internet, telles que la mise en réseau, la santé, la maison, l'urbain, l'industrie, la télévision et l'automobile. La structure générale est ensuite détaillée à différents niveaux. Composants correspondant au diagramme de hiérarchie, niveau réseau, support service et application.

Tous les domaines pertinents sont suffisamment vastes pour innover et créer de la valeur. Cette introduction donne un aperçu de tous les éléments de la chaîne de valeur.

Intégration de passerelles multi-technologies entre objets et réseaux pour connecter le plus grand nombre d'objets, infrastructure de télécommunication dédiée à l'IoT, plates-formes spécifiques, technologies. Solution sur mesure, opérateur de service d'objet connecté.

Les composants matériels et leur environnement de développement sont illustrés, ils comprennent :

- Les identificateurs, capteurs, afficheurs, actionneurs au niveau des objets ;
- Les microcontrôleurs ou processeurs et cartes bas coût sans ou avec OS léger pour les objets simples, des processeurs avec OS comme Linux, Android, IOS et les ressources du nuage pour les objets complexes ;

Les réseaux, qui peuvent être « courte distance », « longue distance » ou « cellulaires », les différentes technologies de réseau utilisables sont détaillées en fonction des contraintes : portée, débit, coût, sécurité ;

La gestion d'une application comprenant des centaines, des milliers voire plus, d'objets implique de disposer d'un support de développement performant (plateforme), des plateformes « solutions propriétaires » et « libres » sont disponibles. Elles doivent satisfaire à un certain nombre de besoins [30]:

- Gérer les composants et le support d'intégration ;
- Assurer la sécurité de l'information ;
- Définir le protocole de recueil des données ;
- Permettre l'analyse des données pour obtenir l'information pertinente (Big Data) ;

Les problèmes de sécurité généraux liés aux composants matériels et logiciels et aux systèmes d'exploitation, il existe un engagement en faveur de la sécurité publique des applications Internet, des capteurs au cloud. Décrit les différentes menaces en détail, ainsi que

des recommandations pour un système sécurisé. La partie légale mentionne également : Qui est la personne ou la partie responsable si l'incident ou l'incident a un impact significatif sur la personne ou la objet ? A titre d'exemple typique d'un véhicule autonome : qui est responsable en cas d'accident ? Ces questions de sécurité et de responsabilité sont les principales causes de problèmes complexes.

Des solutions technologiques sont en cours de développement pour permettre l'interopérabilité entre le cloud, les applications, les réseaux et les composants. De plus une infrastructure fiable et sécurisée, l'avenir d'Internet des Objet dépend également des conditions d'utilisation économiques et juridiques, ainsi que de la compatibilité sociale en ce qui concerne l'utilisation des différentes opportunités technologiques.

### 1.Définition d'objet connecté

Avant de définir les concepts d'IdO, il est très nécessaire de définir l'objet connecté qui est un dispositif dont la finalité première n'est pas d'être un système informatique ni une interface d'accès au web, par exemple, un objet tel qu'une machine à café ou une serrure était conçue sans intégration de systèmes informatiques ni connexion à Internet, l'intégration d'une connexion Internet a un OC permet de l'enrichir en terme de fonctionnalité, d'interaction avec son environnement, il devient un OC Enrichi (OCE), par exemple, l'intégration d'une connexion internet à la machine à café la rendant accessible à distance [31].

Un OC peut interagir avec le monde physique de manière indépendante sans intervention humaine, il connait plusieurs contraintes telles que la mémoire, la bande passante ou la consommation d'énergie, il doit être adopté à un usage, il a une certaine forme d'intelligence, une capacité de recevoir, de transmettre des données avec des logiciels grâce aux capteurs embarqués [32] . Un objet connecté a une valeur lorsqu'il est connecté à d'autres objets et briques logicielles, par exemple : une montre connectée n'a d'intérêt qu'au sein d'un écosystème orienté santé/bien-être, qui va bien au-delà de connaître l'heure [31].

Un OC à trois éléments clés :

- Les données produites ou reçues, stockées ou transmises
- Les algorithmes pour traiter ces données
- L'écosystème dans lequel il va réagir et s'intégrer
- Les propriétés d'usage d'un OC
- Ergonomie (utilisabilité, maniabilité, ...)
- Esthétisme (formes/couleurs/sons/sensations, ...)
- Usage (histoire culturelle, profil, matrice sociale, ...)

– Métamorphisme (adaptabilité, personnalisation, modulation, ...)

Certains chercheurs parlent des « hyper objets » [33] capables de mutualiser leurs ressources afin d'exécuter quotidiennement des tâches, ils sont reliés par des « liens invisibles » au sein d'un même écosystème. Dans ce contexte, certains chercheurs comme [34] ont déjà envisagé de l'informatique ubiquitaire là où « les technologies les plus profondes sont celles qui sont devenues invisibles. Celles qui, nouées ensemble, forment le tissu de notre vie quotidienne au point d'en devenir indissociables » [35] .

La communication entre les objets passés par des identifications connues entre eux, un objet doit avoir un ou plusieurs identifiants (codes-barres) pour être reconnu par un autre et établir la connexion, Le système GS1 (mettre la référence) a proposé une technologie basée sur des étiquettes RFID associant de manière unique, les informations logistiques liées à un objet, à une adresse URL, Google a proposé le projet Physical Web pour associer de manière unique une adresse URL à un objet [31]. L'omniprésence dans notre vie des objets hétérogènes, mobiles et fragiles pose le problème des modèles de confiance adaptés à cet écosystème complexe et fragile [36] ? Derrière ces technologies apparaissent la bataille pour les normes pour l'IdO entre les entreprises géantes d'internet car chacune souhaite imposer ses technologies et contrôler et dominer le marché [31].

## 2. Internet des objets

### Définition

Kevin Ashton le cofondateur de l'auto-ID center du MIT a employé le terme « internet of things (internet des objets) » en 1999. L'IdO a été prononcé dans le cadre d'une présentation pour l'entreprise Procter & Gambel (P&G) ce terme convoque le monde d'objets, d'appareils et de capteurs qui sont interconnectés par internet [31].

Le CERP-IdO (Cluster des projets européens des recherches sur internet des objets) définit l'internet des objets comme : « une infrastructure dynamique d'un réseau global. Ce réseau global a des capacités d'auto configuration basée sur des standards et des protocoles de communications interopérables. Dans ce réseau, les objets physiques et virtuels ont des identités, des attributs physiques, des personnalités virtuelles et des interfaces intelligentes, et ils sont intégrés au réseau d'une façon transparente » [37] .

Cette définition montre les deux aspects de l'IdO : temporel et spatial qui permettent aux utilisateurs de se connecter de n'importe où à n'importe quel moment via des objets connectés (smartphones, tablettes, caméras de vidéosurveillance, capteurs) l'internet des objets doit être pensé pour un usage facile et une utilisation sécurisée pour éviter des menaces et risques potentiels, tout en masquant la complexité technologique sous-jacente [31] .

### 2.1. Architecture de l'IdO

Vu le développement rapide de l'IdO, il devenait nécessaire d'avoir une architecture de référence qui permettrait de standardiser la conception des systèmes et favoriserait

l'interopérabilité et la communication entre les différents écosystèmes de l'IdO (la figure présente la chaîne de valeur IdO /M2M). Par exemple ; un objet de marque X devra pouvoir envoyer des informations à une plateforme Y via le réseau Z ;

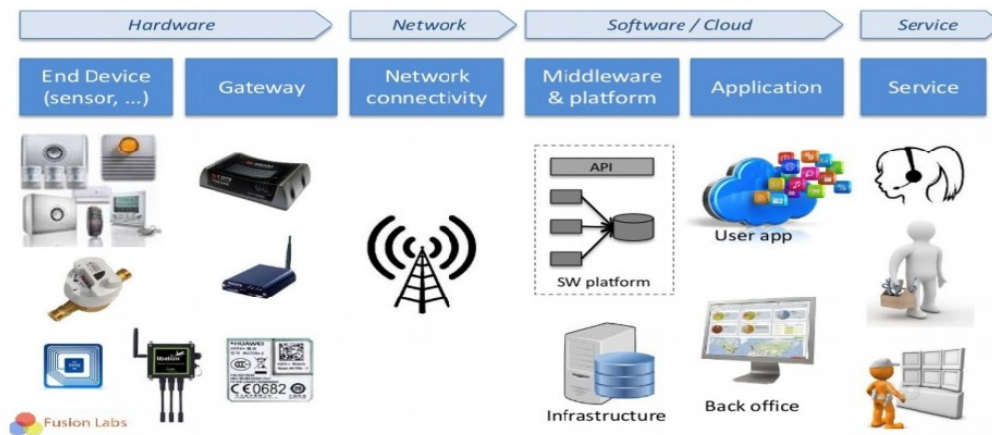


Figure II-1 Tirée de la présentation de Stéphane Montiel (Janvie 2016)

En mars 2015 le comité internet architecture bord IAB édite la RFC 7452 il propose 4 modèles communs d'interaction entre des acteurs de l'IdO :

- **La communication entre les objets**, ce modèle est basé sur une communication sans fil entre 2 objets. Les informations sont transmises grâce à l'intégration d'une technologie de communication sans fil comme ZigBee ou Bluetooth ;
- **La communication des objets vers le Cloud**, dans ce modèle, les données sont collectées par les capteurs envoient à des plateformes de services via un réseau ;
- **La communication des objets vers une passerelle**, ce modèle est appuyé sur l'intermédiaire qui fait le lien entre les capteurs et l'application dans le Cloud ;
- **Des objets au partage des données en back-end**, l'objectif de ce model permet le partage des données entre des fournisseurs de services, il est basé sur le concept « web-programmable », les fabricants mettent en place une API permettant l'exploitation des données agrégées par d'autres fabricants [31].

D'autres organismes proposent d'autres caractères d'architecture pour l'IdO qui privilégient les contextes des applications, l'organisme de standardisation IEEE standards association IEEE-SA a créé le groupe de travail IEEE P 2413 qui prend en compte la variété des contextes des domaines d'application de l'IdO IEEE P2413 s'est fixé les objectifs suivants [31]:

- ❖ Proposer un modèle de référence qui prend en compte les relations, des interactions et les éléments d'architecture communes pour divers domaines ;
- ❖ Développer une architecture de référence qui soit comptable et rend en compte tous les domaines des applications,

Il propose un modèle à 3 niveaux :

- **1<sup>er</sup> Applications** : concerne les applications et les services proposés aux clients ;
- **2<sup>ème</sup> Clouding Computing** : concerne les plateformes de services à qui sont destinées les données. Ce niveau permet d'établir le lien entre les capteurs et le réseau de plateforme et le logiciel de traitements de données ;
- **3<sup>ème</sup> Réseaux capteurs** le niveau le plus bas correspond aux capteurs et la communication entre eux la machine to machine il s'agit d'un réseau de capteurs qui produisent les données et par la suite ils vont alimenter les offres de services [32].

Ce modèle est appelé « cloud-centric » car il est basé en grande partie sur le cloud ; L'IEEE voit le Cloud Computing comme un élément central pour le développement de l'ido ;

D'autres entreprises ont proposé des architectures de couches superposées comme l'entreprise américaine CISCO, en octobre 2013 Jim Green présente building the internet of things, le modèle envisagé par son entreprise pour l'ido , il est constitué de 7 couches (figure 2) [31].

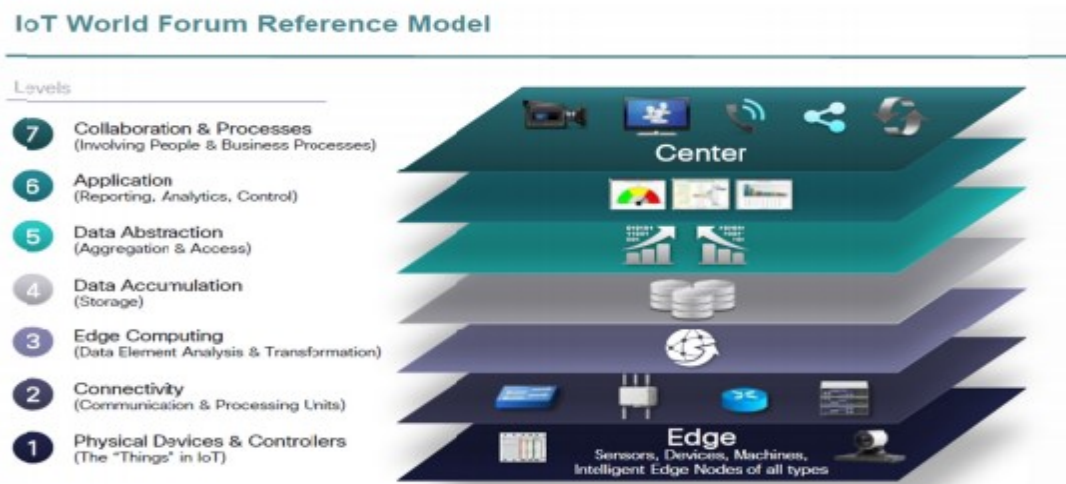


Figure II-2 Les différentes couches de l'internet des objets (Cisco)

Ces modèles montrent l'engouement des entreprises pour le développement des écosystèmes de l'ido ouverte et interopérable pour d'être voulu par les acteurs des marchés, malgré, ces architectures, ils restent beaucoup d'efforts à faire pour proposer un modèle de référence globale qui prend en compte les spécificités de l'IdO [31] .



## 2.2.Fonctionnement de l'internet des objets

### 2.2.1.Etapes et technologies dans l'écosystème de l'IdO

Les OC sont au cours de l'ido, mais il est important de pouvoir connecter l'ensemble de ces objets, les faire échanger des informations et interagir au sein d'un même environnement [31].

La mise en place de l'ido se déroule par les étapes qui convient : l'identification, l'installation de capteurs, la connexion des objets entre eux, l'intégration et la connexion à un réseau. Le tableau présente les étapes et les protocoles éventuels [32]:

Identifier	capter	Connecter	Intégrer	Mettre en réseaux
Rendre possible l'identification de chaque élément connecté	Mise en place de dispositifs nous rapprochant du monde réel. Les fonctions de base des objets(le capteur de température pour le thermomètre par exemple)	Etablir une connexion entre tous les objets afin qu'ils puissent dialoguer et s'échanger des données	Disposer d'un moyen de communication rattachant les objets au monde virtuel	Relier les objets et leur données au monde informatique via un réseau (interne : par exemple)
IPv4, IPv6, 6LoWPAN	MEMS, RF MEMS, NEMS	SigFox, LoRa	RFID, NFC, Bluetooth, Bluetooth LE, ZigBee, WiFi, Réseaux cellulaires	CoAP, MQTT, AllJoyn, REST http

Tableau II-1 Les étapes technologies pour la mise en place de l'IdO [tiré de ROX 2017, p.73]

Type de systèmes	Identification (y compris lecteurs)	Capteurs	Connexion	intégration	Traitement de données	Réseaux
Enjeux	Reconnaitre chaque objet de façon unique et recueillir les données stockées au niveau de l'objet	Recueillir des informations présentes dans l'environnement pour enrichir les fonctionnalités du dispositif.	Connecter les systèmes entre eux	Itérer les systèmes pour que les données soient transmises d'une couche à l'autre.	Stocker et analyser les données pour aider à la prise de décisions	Transférer les données dans les mondes physiques et virtuels

Technologies anciennes (exemples)	Codes barres, solutions RFID simples	Thermomètre, hydromètre...	Câbles. ..	Middleware s...	Excel,ERP ,CRM...	Internet,Ether net...
Technologies récentes (exemples)	Solutions RFID complexes , Acoustic waves , puces optiques,ADN	Capteurs miniaturisés nanotechnologies	Bluetooth, Nearfield Communication (NFC), Wifi..	Middleware s évolués	Datawarehouse 3D (comparable avec les puces rfid), Web sémantique...	Réseau EPCglobal..

Tableau II-2 Principaux systèmes technologiques nécessaires au fonctionnement de l'IdO

L'IdO désigne plutôt diverses solutions techniques (RFID, TCP/IP, technologies mobiles) qui permettent d'identifier des objets, de capter, stocker, traiter, et transférer des données dans les environnements physiques mais aussi entre des contextes physiques et des univers virtuels, l'enjeu majeur n'est pas tant d'inventer de nouvelles technologies que de perfectionner celles qui existent déjà, de les connecter, et de les intégrer [38].

Nous citons ci-après les principales classes de solutions nécessaires au fonctionnement de l'IdO. Plutôt que d'en décrire tous les éléments, nous considérerons trois composantes considérées comme critiques : les solutions RFID, les solutions logicielles middleware et le réseau EPC global [38].

## 2.3. Technologies utilisées par IdO

### 2.3.1. Internet des objets et RFID

Aujourd'hui, il existe de très nombreux ouvrages et rapports qui présentent le fonctionnement de ces solutions et nous nous contenterons ici d'une courte synthèse. Les solutions RFID font partie de la classe des technologies d'identification automatique. En générale, elles sont utilisées pour donner une identité électronique à un objet inanimé ou animé, par exemple dans le secteur de la logistique [38].

Les applications sont diverses et variées dans le domaine de la logistique, de la production à la gestion des relations entre tous les acteurs de la chaîne logistique y compris le client, au niveau de la production, des capteurs (tags RFID) sont intégrés sur des produits (palettes, sacs, bacs) pour stocker des informations sur leurs contenus, des informations de traçabilité (opérations effectuées sur les produits, origine du produit et de ses composants), les

applications de pilotage intelligent de la chaîne de production ont vu le jour, via des lecteurs RFID montés à bord des convoyeurs pour aiguiller automatiquement des articles ou des palettes en fonction des opérations à effectuer ou de leur contenu. D'autre part, il est possible d'intégrer la chaîne de production et les systèmes de gestion de l'entreprise (MES : Manufacturing Execution System, EMI : Enterprise Manufacturing Intelligence, ERP : Enterprise Resource Planning), de sorte que les données transmises par des capteurs intelligents au niveau de la chaîne de production puissent être utilisées pour la prise de décision au niveau local et global pour la fabrication de produits, cette intégration permet aussi le management stratégique et tactique de l'entreprise au niveau global (planification, management, ordonnancement de la production, management des ressources), et sert à optimiser la maintenance des équipements dans tous les domaines (véhicule électrique, éolien, solaire, aéronautique, transport) [39].

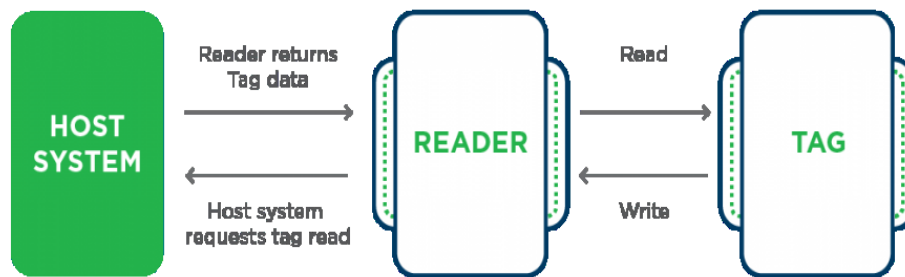


Figure II-3 Système RFID

Un exemple d'application est celui de BMW qui utilise la technologie Win River pour connecter son ordinateur de bord à des opérateurs de télécommunication pour dialoguer en temps réel avec des services Cloud (météo, trafic) à des fins de maintenance du véhicule en cas de panne, ce service permet aussi de remonter des informations sur l'état des pièces importantes du véhicule à l'aide de capteurs intégrés, ainsi qu'à la remontée de statistique (informations sur l'état de la route, fluidité de la circulation) et des diagnostics plus précis [39].

### 2.3.2. Internet des objets et Big Data

Les « Big Data » remplacent progressivement et de façon très invasive les bases de données relationnelles existant depuis les années 1990. En effet, ces bases de données géantes permettent de gérer un plus grand volume de données, leur disparité, leur hétérogénéité et facilitent l'accès en temps réel aux informations, qu'elles soient distribuées ou centralisées [39].

Avec la montée en puissance de l'Internet des objets, les capteurs embarqués sur des dispositifs mobiles permettent de remonter de plus en plus de données (température, pression, position GPS, vitesse, luminosité, rythme cardiaque) ; Cette situation complique de plus en plus la tâche des analystes, et de la fouille de données, qui se trouvent face au problème de proposer de nouvelles solutions adaptées à cette forte volumétrie en constante progression, en remplacement aux démarches de fouille traditionnelles qui se basent en général sur des

modèles statistiques, la régression linéaire ou logistique. Aussi, il faut noter que la collecte, le formatage et la transmission de données issues de capteurs vers des plateformes Cloud requiert beaucoup d'énergie, ce qui peut s'avérer très contraignant, si bien qu'il faut maintenant penser à déplacer les tâches de traitement vers des périphériques dont la contrainte en énergie est moins forte que celle du capteur (Smartphone, PDA, ordinateur) ; Il existe des middlewares qui ont été développés dans ce sens (MOSDEN : Mobile Sensor Data Processing Engine) [39].

Côté protocoles, ceux utilisés maintenant depuis quelques années pour les applications web (SOAP : Simple Object Access Protocol, REST : Representational State Transfert) servent également pour les échanges entre objets, les langages de fouille de données (SPARC QL, ETL : Extract Transform and Load) facilitent l'extraction et le traitement de données provenant de sources diverses, de bases de données distribuées ou non, relationnelles ou NoSQL ; Ces langages, ces standards et ces protocoles visent aussi à intégrer l'internet des Objets avec le Cloud Computing pour donner naissance au Cloud des objets (Cloud of Things), afin de créer des applications plus intelligentes, de rendre les données collectées sur les objets plus accessibles, et surtout plus pertinentes et significatives [39].

### 2.3.3. Internet des objets et GPS

La puce GPS (système de localisation mondial) est actuellement le système de repérage le plus utilisé dans le monde. En effet, elle s'intègre facilement dans les dispositifs mobiles, et permet de transmettre la position du mobile en temps réel aux applications dans divers domaines : le transport, les services d'urgence, la météo [39].

Parmi les techniques de localisation nous citons deux principaux algorithmes : La Triangulation et la Trilatération, la trilatération est basée sur La distance entre le mobile et la station de base, la position du mobile est déterminée à partir des distances estimées depuis trois stations de bases distinctes minimum, La triangulation utilise quant à elle la direction du signal provenant du mobile ; La localisation dans ce cas se fait en interprétant les angles que fait la direction du signal et les antennes des stations de base. [39].



Figure II-4 Module GPRS

Avec l'arrivée des tags RFID et des périphériques à faible consommation d'énergie, d'autres solutions de localisation émergent, comme RSN (Radar Sensor Network) qui utilisent

des réseaux à faible puissance et des radars Doppler (5,8 GHz) pour estimer la position et la vitesse de la cible dans les WSN (Wireless Sensor Networks), en utilisant un filtre de Kalman étendu ; Cette technique permet aussi de localiser des cibles non coopératives utilisant des capteurs actifs. Rappelons que les cibles non coopératives sont des objets qui ne renvoient pas des signaux de localisation pour que l'on puisse déterminer leur position en temps réel ; Une des applications de cette technique est la plateforme iRobot qui permet de connecter un robot à un PC Linux, et qui fournit une librairie pour déterminer, contrôler ou programmer la trajectoire, la vitesse ou la direction d'un robot et de récupérer aussi beaucoup d'autres informations sur le Robot (distance parcourue, vitesse). D'autres frameworks s'intéressent particulièrement à la localisation Indoor pour l'optimisation des tournées ou la sécurité des personnes [39].

C'est le cas avec ETICOM-FRAMEWORK d'Etineo. L'IETF (Internet Engineering Task Force), un organisme proche du W3C chargé du développement et de la promotion des standards d'Internet a développé le protocole HIP (Host Identity Protocol) dont le but est de séparer la partie localisation de la partie Identification, celle chargée de l'identification de l'hôte sur un réseau ; Ce protocole est basé sur une infrastructure à clé publiques (PKI) et permet entre autres le multi-homing et la mobilité IP [39].

### **2.3.4. Internet des objets et GSM**

Avec l'avènement de l'IdO, un autre défi est celui de la mise à disposition des réseaux de communication fiables, tant au niveau des infrastructures qu'au niveau des protocoles de communication. Ce défi est lié entre autres à la mobilité des objets, à l'hétérogénéité des données et des plateformes, à l'accès à l'information depuis n'importe quel lieu, à n'importe quel moment et à travers n'importe quel dispositif (PDA, Smartphone, tablette), ce qui rend plus ardue la standardisation des protocoles et des algorithmes. De plus, le volume de données à transmettre par les capteurs pose un grand souci sur la disponibilité de la bande passante, d'où la nécessité de mettre en œuvre des réseaux adaptés à ces nouvelles contraintes ; Dans la littérature, il est mentionné deux approches, l'utilisation de réseaux sans fil courte portée (Zigbee, Wifi) qui permettent de connecter les objets à l'Internet via une passerelle ; et les réseaux cellulaires classiques large bande (4G, 3G) [39].

L'utilisation de réseaux cellulaire ultra bas débit (UNB : Ultra Narrow Band) est en plein essor du fait que la plupart d'objets n'ont pas besoin de la bande passante mise à leur disposition dans les réseaux haut-débit, mais plutôt de réseaux à très faibles coûts et à très faible consommation d'énergie ; Parmi les acteurs de ces réseaux ultra bas-débit, nous pouvons citer Sigfox, Neul et On-Ramp ; Les réseaux Sigfox sont caractérisés par leur structure hiérarchique ; des serveurs qui vérifient l'intégralité des données et routent les messages vers des systèmes d'information, des modems UNB qui communiquent avec des stations de base ou cellules pour couvrir des zones larges, et des stations de base qui routent les messages vers les serveurs [39].



Figure II-5 Module GSM

D'autres solutions existent pour résoudre des problèmes de communications dans l'IdO, à savoir l'intégration de réseaux ubiquitaires à communication sans fil pour gérer la connectivité des objets, la virtualisation des ressources réseaux (physiques et virtuelles) pour faciliter le partage et la disponibilité des ressources, les réseaux Xbee, l'utilisation des capteurs hertziens, pour des applications domotiques, la surveillance de l'environnement, ou la sécurité des portails. Ces technologies sont utilisées dans la logistique de transport urbain pour l'évitement de collision entre véhicules, la localisation des personnes dans les zones à risques par l'utilisation de capteurs sans fils, la prédiction du temps de transport pour les marchandises, ou dans la logistique médicale pour collecter des informations lors d'un transport d'organe [39].

### 2.3.5. Internet des objets et blockchain

La Blockchain est une technologie développée pour le crypto monnaie Bitcoin par Satoshi Nakamoto (pseudonyme) en 2008 [40].

La société Blockchain France a définie « La blockchain est une technologie de stockage et de transmission d'informations, transparente, sécurisée, et fonctionnant sans organe central de contrôle ; Par extension, une blockchain constitue une base de données qui contient l'historique de tous les échanges effectués entre ses utilisateurs depuis sa création, cette base de données est sécurisée et distribuée : elle est partagée par ses différents utilisateurs, sans intermédiaire, ce qui permet à chacun de vérifier la validité de la chaîne » [31].

La Blockchain est un système de registre distribué où l'enregistrement des transactions s'effectue à travers des nœuds multiples dans un réseau pair à pair (P2P) [31].

De « Commotion » <http://commotionwireless.net/> à la « Blockchain » : variations autour des systèmes décentralisés ; Il s'agit de s'affranchir d'une instance centrale en mettant en place des dispositifs qui fonctionnent indépendamment d'une instance centrale ; Avec tous les problèmes politiques qui vont avec dans le cadre d'une société d'hypercontrôle [31].

Toute Blockchain publique fonctionne nécessairement avec une monnaie ou un token (jeton) programmable<sup>26</sup> », Bitcoin en est un exemple, utilisateurs du Bitcoin, qui se

connaissent par l'échange de leurs clés publiques, génèrent et diffusent des transactions sur le réseau pour transférer de l'argent ; Ces transactions sont regroupées dans un bloc par les utilisateurs ; Lorsqu'un bloc est rempli, celui-ci est ajouté à la blockchain après un processus de ménage, pour miner un bloc ; Des nœuds du réseau appelé mineurs essayant de résoudre un problème cryptographique appelé proof of work PoW ou preuve de travail ; Une le block validé, il est horodaté et ajouté à la blockchain ; A ce moment, la transaction est visible pour le récepteur ainsi que sur l'ensemble du réseau « figure » [31].

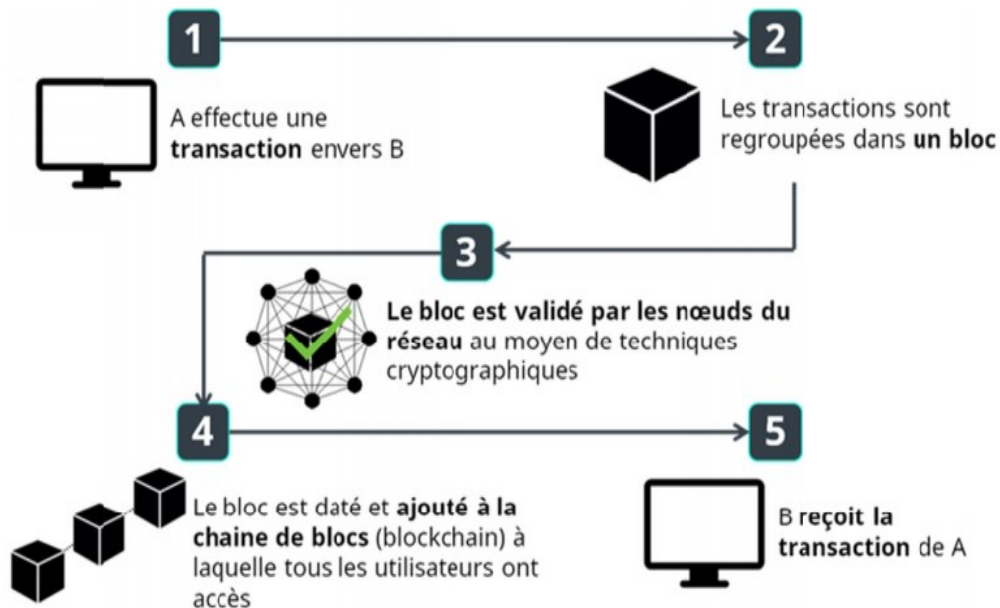


Figure II-6 Réseau de Blockchain

Dans le contexte de l'internet des objets, du fait de l'interconnexion du système hétérogène qui génère un volume important de données personnelles, notre société numérique se trouve face à plusieurs défis, vu le fonctionnement de blockchain distribué et ses mécanismes de consensus permettant de concilier les intérêts divergents et une confiance répartie grâce à la suppression de tiers de confiance unique, elle peut offrir des réponses à certains défis [31].

## 2.4. Domaines D'applications

### L'internet des objets dans le domaine de la sécurité

Pour le cabinet en stratégie, ces entreprises vont rapidement se positionner comme des alliés des personnes qui résident dans leur domicile. En fournissant des données relatives à la consommation d'énergie aux foyers, ces groupes vont apparaître comme des arguments contre le facteur EDF pour les fournisseurs d'énergie la précision sera difficile à tenir car ils seront probablement contraints d'accompagner leurs clients dans une baisse de leurs facteurs énergétique [41].

### **L'internet des objets dans le domaine de l'industrie**

Le déploiement de L'IoT dans l'industrie sera certainement un grand support pour le développement de l'économie et le secteur des services, puisque L'IDO permettra d'assurer un suivi total des produits, de la chaîne de production, jusqu'à la chaîne logistique et de distribution en supervisant les conditions d'approvisionnements. Cette traçabilité de bout en bout facilitera la lutte contre la contrefaçon, la fraude et les crimes économiques transfrontaliers

Certains éditeurs tels que SAP et CISCO montrant d'ores et déjà comment certaines zones industrielles comme le port d'Hambourg ont pu être équipés en puces et autres objets connectés. L'internet couvre un énorme nombre d'industries et utilise des cas qui s'étendent d'un seul dispositif contraint aux déploiements croisés de technologies intégrées de systèmes Cloud connectés en temps réel [41].

### **L'internet des objets dans le domaine de l'agriculture**

L'IoT présentera des outils de choix pour la supervision de l'environnement des cultures, ce qui permettra une meilleure aide à la décision en agriculture. L'IoT servira non seulement à optimiser l'eau d'irrigation, l'usage des intrants et la planification des travaux agricoles, mais aussi, cette technologie peut être utilisée pour lutter contre la pollution (l'air, le sol et les eaux) et améliorer la qualité de l'environnement en général

L'usage des objets connectés se démocratise dans l'agriculture. De nombreuses améliorations ou découlent la gestion des engins agricoles, la maîtrise de l'irrigation ou la gestion optimisée des intrants, que la surveillance de la croissance des plantes ou encore la prévention des risques météo. De quoi renouveler en profondeur les pratiques de cette activité ancestrale, grâce à l'analyse des données récoltées et au pilotage de plus en plus fin des exploitations [41].

Les premières applications sont déjà étonnantes, que ce soit pour le grand public ou l'entreprise. En voici quelques exemples, qui sont loin de constituer une liste exhaustive.

- **Les flottes de véhicules sont optimisées** : Maximiser l'usage d'un parc de véhicules, accroître la productivité des interventions des équipes, réduire les dépenses de carburant d'au moins 10%, redéfinir le trajet en temps réel selon la circulation et les conditions météorologiques : ces applications sont déjà offertes par Orange Applications for Business et Océan, le spécialiste de la géolocalisation qu'il vient de racheter, pour les chantiers, le BTP, la distribution, les utilités ;
- **Les « supply chains » sont révolutionnées** : L'instantanéité de l'information, ainsi que le croisement de données de différentes sources (température, humidité, vérification de l'ouverture d'un paquet, taux de remplissage d'un camion, heure d'arrivée des véhicules, fatigue du conducteur), permettent des applications révolutionnaires. C'est ce que fait déjà Caterpillar, par exemple, qui suit les yeux et la fatigue des conducteurs. Sur l'ensemble de la supply chain, des acteurs ont entrepris d'intégrer l'IoT à des activités telles que la planification, la gestion du dernier kilomètre, l'entreposage. Ainsi, l'entreprise Bobcat a accru de 25% la productivité de ses chariots élévateurs connectés, avec un retour sur investissement en 18 mois, tandis que les robots Kiva utilisés par Amazon réduisent de 30% le coût de préparation d'une commande ;



**Les « smart cities » émergent :** L'optimisation du remplissage des parkings dans la ville grâce à l'identification en temps réel des places libres devient une réalité ; l'éclairage intelligent qui varie en fonction de l'intensité lumineuse ou des déplacements également. La gestion du trafic est désormais facilitée par une vision fine et en temps réel des flux. Toutes les villes s'activent dans ce sens : de Barcelone (reconnue meilleure « smart city » au monde par Juniper Networks en 2015) à New York, Amsterdam ou Nice ;

- **Les « smart buildings » donnent des résultats concrets :** Les solutions de Selex ES pour bâtiments connectés émettent des recommandations d'ajustement en temps réel, identifient les inefficacités, permettent la maintenance préventive et réduisent en moyenne de 7% la consommation énergétique. Avec Philips, les luminaires à LED sont connectés directement au réseau Ethernet et possèdent tous une adresse IP. Chaque utilisateur peut, via son smartphone et une triangulation des adresses IP, être géo-localisé par les luminaires et prendre ainsi le contrôle de son environnement immédiat (lumière, température). Le responsable immobilier connaît en temps réel l'occupation des locaux, et l'agent d'entretien sait quels ont été les bureaux utilisés depuis son dernier passage ;
- **L'usine connectée devient une réalité :** On assiste à l'émergence d'une nouvelle génération de lignes de production et de robots intelligents capables de réagir aux informations reçues en temps réel (état du carnet de commandes, caractéristique des matières entrant dans la chaîne de production, statut des autres machines) pour adapter leurs paramétrages en termes de cadence, qualité, étiquetage, packaging ou signalétique. SAP et Festo AG développent ainsi déjà des lignes de production qui, à partir des mêmes étuis en plastique, réalisent à la demande soit des télécommandes, soit des enveloppes de téléphone portable. La meilleure synchronisation des lignes de production et la diminution des temps morts qui en résultent se traduisent par une consommation d'énergie diminuée de plus de 10% et des coûts de production customisée réduite de 40% ;
- **Les avions se connectent et optimisent leurs routes et leur consommation de carburant :** Flight Efficiency Services est le système de maintenance prédictive et d'optimisation des opérations mis en place par GE. Une multitude de capteurs recensent les données de performance des moteurs et les analysent afin d'optimiser le vol et la maintenance. Alitalia a ainsi déclaré des économies de fuel de 1,5% grâce à cet avion connecté ;
- **Les shampoings sont suivis à la trace.** Les fabricants de produits de grande consommation, comme L'Oréal, intègrent de plus en plus de puces RFID à leurs produits. La gestion des stocks gagne en productivité et en réactivité. Les fabricants connaissent mieux les flux que les distributeurs eux-mêmes.

- **La distribution est connectée :** A Lille, les éclairages à LED Philips guident l'acheteur dans les rayons des grandes surfaces en fonction de sa liste de courses, l'application C-où de Carrefour aide le client à construire son parcours d'achat à partir des produits qu'il désire acheter ;
- **La prévention santé devient une réalité :** Plus qu'un gadget, le bracelet Withings est la clé d'entrée dans l'univers de la santé personnelle. Les services de santé et bien-être pour les salariés se développent à une vitesse inédite ;

**Des secteurs comme l'agriculture sont, contrairement aux idées reçues, à la pointe du digital :** Les semis sont optimisés et les cultures traitées en fonction des prévisions climatiques, les parcelles à fertiliser repérées par infrarouge, le désherbage et les récoltes assistés mécaniquement [42].

## 2.5.Enjeux et défis de l'IdO

L'IdO repose sur un large panel de technologies, de protocoles, de réseaux et de concepts : des infrastructures réseaux, de nouvelles plateformes logicielles, matérielles et de services, l'IdO est en particulier associé à l'identification et la traçabilité via l'intégration des puces RFID (Radio Frequency Identification Systems) ; le web sémantique, les nanotechnologies, la mobilité, l'ubiquité, le crowdfunding, cette mutation constante et évolutive des technologies et l'avènement de nouvelles plateformes, de nouveaux services et de nouvelles architectures entraînent de nouvelles perspectives, de nouveaux marchés avec des enjeux économiques, sociaux, politiques, éthiques, sécuritaires et réglementaires larges et variés [39].

Nous pouvons citer comme défis à relever l'intégration et le partage de données sur des plateformes Cloud, la sécurisation des données personnelles des utilisateurs (liberté et confidentialité), la bonne gouvernance (transparente et démocratique), l'harmonisation des standards, des réseaux et les aléas de la compétition économique. La gestion de la chaîne logistique s'inscrit dans cette perspective et occupe une place prépondérante parmi les champs d'application de ces nouvelles technologies et concepts liés à l'IdO. Nous pouvons citer à titre d'exemple des problématiques traitées dans le domaine de la logistique, comme abordé, telles que l'aide à la gestion et à la prise de décision, l'optimisation des stocks, l'amélioration de la qualité de service, l'identification par radiofréquence, le suivi temps réel des produits et des processus [39].

## 2.6. Avantage et inconvénients

Au cours des dix dernières années, le prix moyen des capteurs utilisés dans les objets connectés (capteurs d'humidité, de température, de présence) a été divisé par 40, les technologies liées à l'internet des objets sont donc plus accessibles, les évolutions technologiques permettent aujourd'hui de recueillir et d'analyser les énormes quantités de données générées par nos objets connectés :

- Dans le domaine de l'entreprise : les appareils connectés sont capables d'identifier leurs défaillances potentielles, de fournir des rapports de maintenance et de s'auto diagnostiquer au lieu de simplement tomber en panne, ils identifient leurs défaillances et les envoient au support technique afin de démarrer le processus de résolution (commande d'une pièce de rechange, remplacement de l'objet) ;

- Dans le domaine de l'énergie : les compteurs intelligents (encore peu utilisés) d'eau, de gaz et d'électricité intelligents, en régulant et en réduisant notre consommation, pourraient indirectement diminuer les émissions de gaz à effet de serre ;

- synonyme d'économie d'énergie ;

- Suivant l'Intelligent Transportation Society of America, la consommation de carburant des transports intelligents pourraient de 2 à 4% par an dans les 10 années à venir (avec des assistants à la conduite comme l'Akolyt de Drust par exemple)

- Les voitures autopilotées et la connexion véhicule-à-véhicule permettraient de diminuer le trafic et ainsi les émissions de gaz à effet de serre (suivant l'agence Gartner plus de 60% des véhicules pourraient être connectés dans la décennie 2020) ;

Mais l'internet des objets avec son nombre grandissant de gadgets (technologies portables, smartphones) et leur obsolescence entraine des risques pollution croissants, ces objets connectés sont des déchets potentiels, 57 millions de tonnes de déchets électroniques en 2013, qui pourraient augmenter de 23,5% d'ici à 2020 [43].

## Conclusion

Le système d'information agro-alimentaire est construit sur la base du Cloud Computing et l'agroalimentaire intelligente est construite avec la combinaison d'IOT et de RFID. Les ressources matérielles dans le réseau d'information sont intégrées dans le pool de ressources en utilisant la technologie de vitalisation et de contrôle de qualité, en réalisant une répartition dynamique des ressources et un équilibre de charge, qui améliore de manière significative l'efficacité de l'utilisation des ressources.

Une grande quantité de données obtenues en utilisant la RFID, communication sans fil, contrôle automatique, techniques de détection de IOT est gérée avec le Cloud d'information agroalimentaire, réalisant ainsi un système de traçabilité agroalimentaire intelligent.

Il est très important de faire la traçabilité des produits agroalimentaires tout au long de leur chaîne logistique, ce pour cela que nous avons décidé d'utiliser pour notre projet des technologies avancées comme l'IdO qui résout plusieurs problèmes de traitement de données, géolocalisation en temps réel, contrôle à distance.

## **III. Chapitre 3**

**Apport scientifique**  
**(Réalisation de maquette et Site web)**

## Introduction

Le travail que nous décrivons dans ce mémoire est divisé en deux grandes parties. La première partie consiste à créer une base des données pour sauvegarder et organiser les données des lots à conserver ou transporter d'une part, d'une autre part créer un site web pour gérer les lots et les produits fabriqués et qui permet aux consommateurs de consulter l'état des produits et toutes les données autour d'eux comme l'origine de la matière première... La deuxième partie consiste à fabriquer une maquette automatisée qui se sert d'un ensemble de capteurs et de microcontrôleurs afin de contrôler l'état des produits et de transférer les données à la base des données. L'objectif de ce chapitre est donc de présenter l'ensemble des ressources matérielles et logicielles utilisées pour la réalisation de notre travail.

Nous avons utilisé dans ce projet des outils matériels tels que le microcontrôleur Arduino et un ensemble de capteurs et de composants. Ces outils matériels seront présentés ce chapitre.

Pour la création de la BDD, nous présentons le logiciel « phpMyAdmin ».

Pour la création de notre interface de site web, nous présentons les langages de programmation « HTML », « CSS », « JS ».

## 1.Partie Software

### 1.1 Création et développement de BDD

#### phpMyAdmin:

PhpMyAdmin est un logiciel gratuit écrit en PHP, destiné à gérer l'administration de MySQL sur le Web. phpMyAdmin prend en charge un large éventail d'opérations sur MySQL et MariaDB. Les opérations fréquemment utilisées (gestion des bases de données, des tables, des colonnes, des relations, des index, des utilisateurs, des autorisations) peuvent être effectuées via l'interface utilisateur, tout en vous permettant d'exécuter directement toute instruction SQL.



Pour cela nous avons présenté des figures pour expliquer les étapes de développement et les différentes séquences de la BDD.

A travers PHPMyAdmin, on peut visualiser toutes les bases de données dans le système. On peut aussi effectuer les différentes opérations SQL d'ajout, suppression, modification...

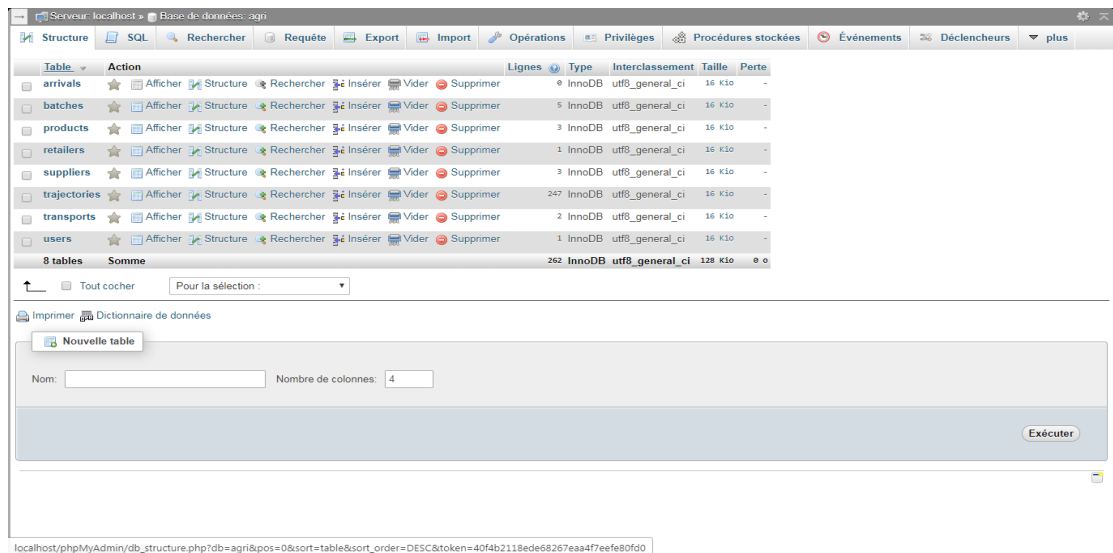


Figure III-1 Base de données

La table des arrivées contient les records ajoutés lors d'arrivée des lots chez un détaillant. Cette table contiendra ainsi les informations nécessaires sur l'état des lots (humidité, température, gaz...)

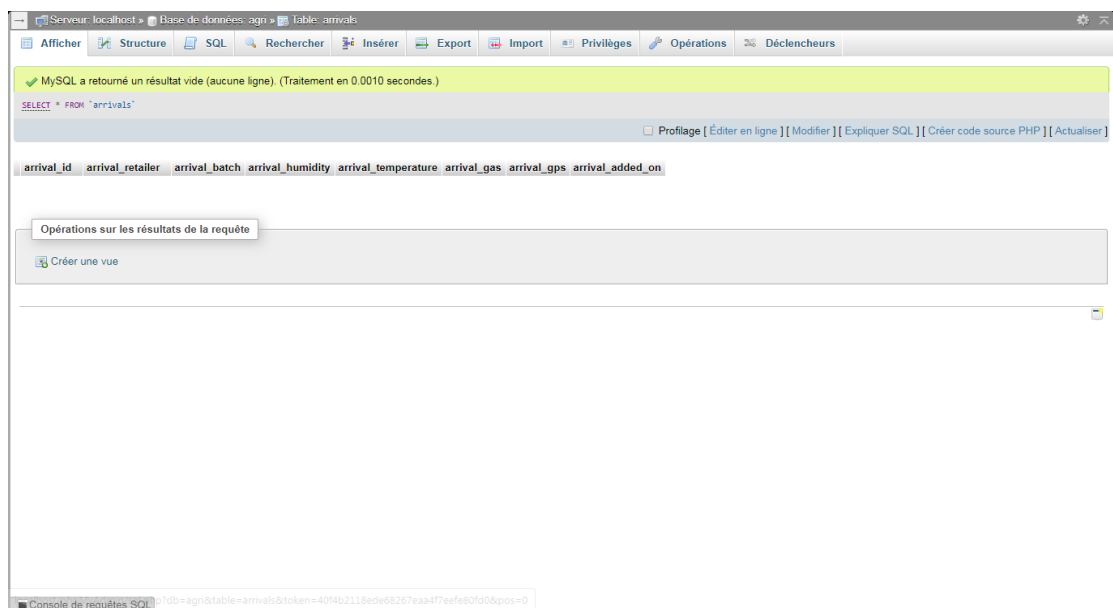


Figure III-2 La table des arrivées

La table des lots regroupe les différents lots qui existent depuis leur entrée dans le système. C'est à travers le RFID attribué à un lot qu'on peut avoir une idée sur son état.

The screenshot shows a database management tool interface for the 'batches' table. The table structure is as follows:

batch_id	batch_rfid	batch_added_on
1	TEST	2019-02-26 18:30:18
2	TEST2	2019-02-26 21:46:51
4	LOT03	2019-02-26 21:47:08
5	fdez	2019-02-26 21:47:31
6	DERNI	2019-02-26 21:48:36

Figure III-3 La table des lots

La table des produits est l'ensemble de produits ajoutés après les avoir regroupés dans un lot. Il est à noter que la localisation (et l'acquisition des différentes informations sur les produits) ne se fait pas grâce à cette table, mais c'est grâce à la table des lots.

The screenshot shows a database management tool interface for the 'products' table. The table structure is as follows:

product_id	product_name	product_type	product_rfid	product_code	product_supplier	product_details	product_added_on
1	Ifri	1	TEST	EZLK5	1	Ifri Lait (Testing)	2019-02-26 18:52:31
2	Ifrit fruit	1	TEST	jpozfzemoj	1	JFOPZFJ	2019-02-26 18:52:36
3	HOIALI	1	TEST2	TESTqr	2	Description	2019-02-26 19:05:23

Figure III-4 : Table des produits



La table des détaillants est tout simplement un tableau contenant les différents détaillants affiliés et enregistrés dans le système. On peut trouver les informations de contact, adresse...

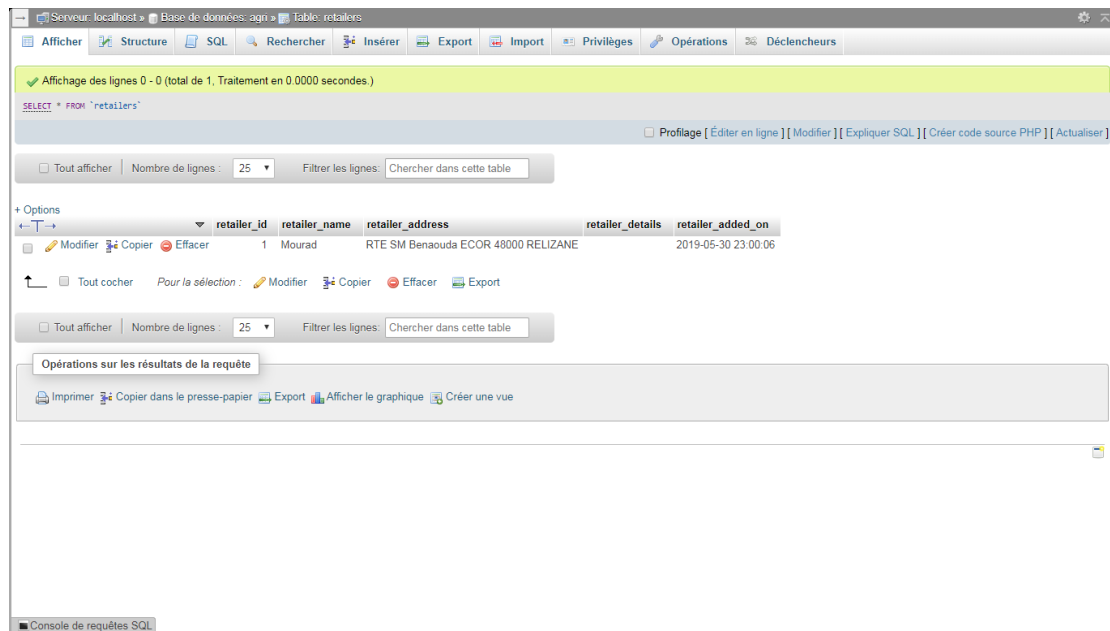


Figure III-5 La table des détaillants

La table des fournisseurs regroupe les différents fournisseurs de produits affiliés et enregistrés dans le système. On peut trouver les informations de contact, adresse...

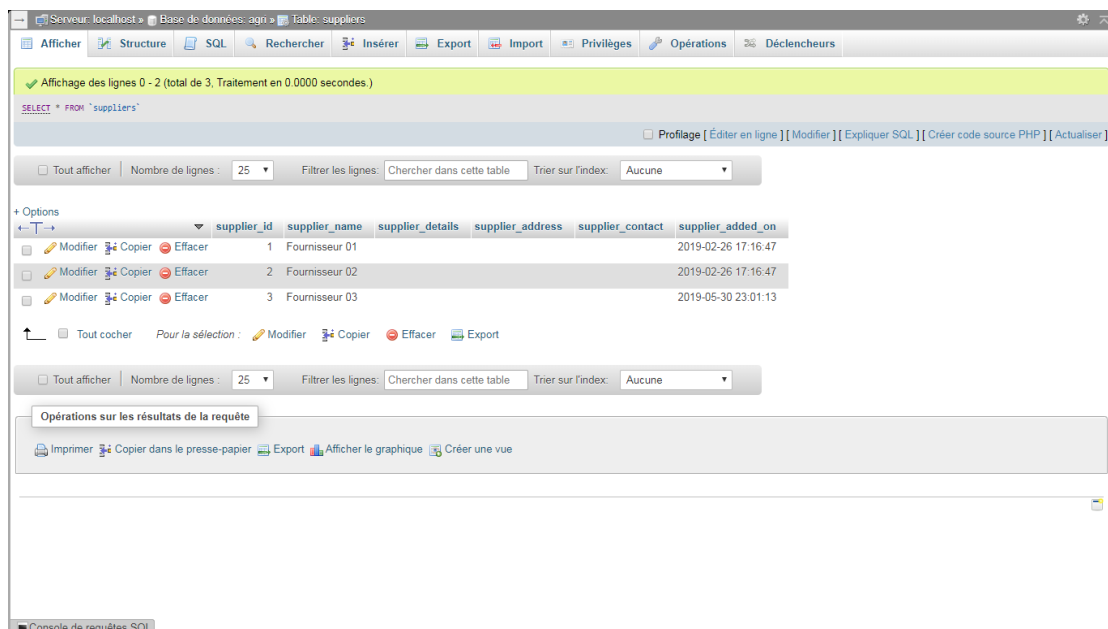
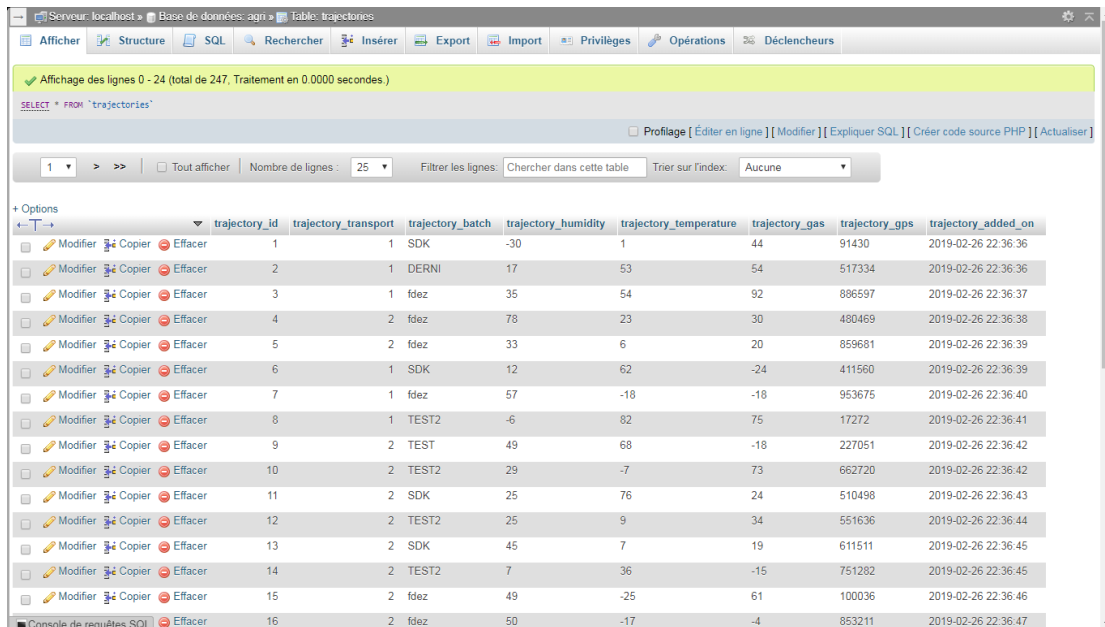


Figure III-6 Table des fournisseurs

La table des trajectoires fait la liaison entre les transporteurs (en cours d'une opération de transport) et les lots qu'ils transportent.

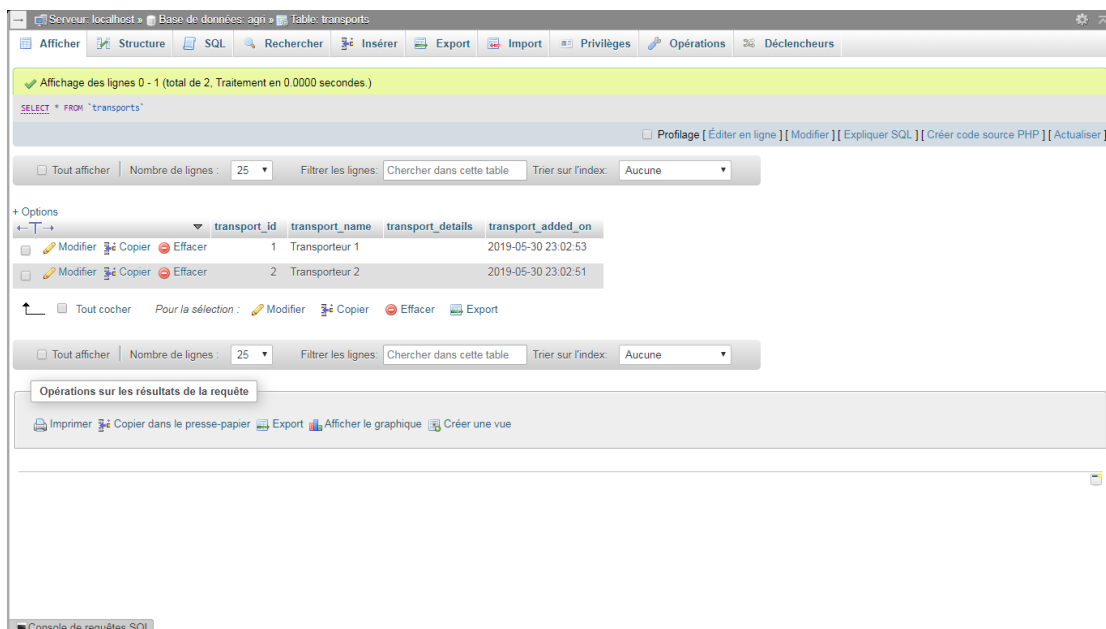
Elle contient les informations nécessaires (humidité, température, gaz, GPS...) et permet la visualisation en temps réel (à travers l'interface).



trajectory_id	trajectory_transport	trajectory_batch	trajectory_humidity	trajectory_temperature	trajectory_gas	trajectory_gps	trajectory_added_on
1	1	SDK	-30	1	44	91430	2019-02-26 22:36:36
2	1	DERNI	17	53	54	517334	2019-02-26 22:36:36
3	1	fdez	35	54	92	886597	2019-02-26 22:36:37
4	2	fdez	78	23	30	480469	2019-02-26 22:36:38
5	2	fdez	33	6	20	859681	2019-02-26 22:36:39
6	1	SDK	12	62	-24	411560	2019-02-26 22:36:39
7	1	fdez	57	-18	-18	953675	2019-02-26 22:36:40
8	1	TEST2	-6	82	75	17272	2019-02-26 22:36:41
9	2	TEST	49	68	-18	227051	2019-02-26 22:36:42
10	2	TEST2	29	-7	73	662720	2019-02-26 22:36:42
11	2	SDK	25	76	24	510498	2019-02-26 22:36:43
12	2	TEST2	25	9	34	551636	2019-02-26 22:36:44
13	2	SDK	45	7	19	611511	2019-02-26 22:36:45
14	2	TEST2	7	36	-15	751282	2019-02-26 22:36:45
15	2	fdez	49	-25	61	100036	2019-02-26 22:36:46
16	2	fdez	50	-17	-4	853211	2019-02-26 22:36:47

Figure III-7 Table des trajectoires

La table des transporteurs regroupe les différents transporteurs de lots affiliés et enregistrés dans le système. On peut trouver les informations de contact, adresse...



transport_id	transport_name	transport_details	transport_added_on
1	Transporteur 1		2019-05-30 23:02:53
2	Transporteur 2		2019-05-30 23:02:51

Figure III-8 La table des transporteurs

La table des utilisateurs contient les noms d'utilisateurs (et mots de passe) qui peuvent avoir accès à utiliser l'interface.

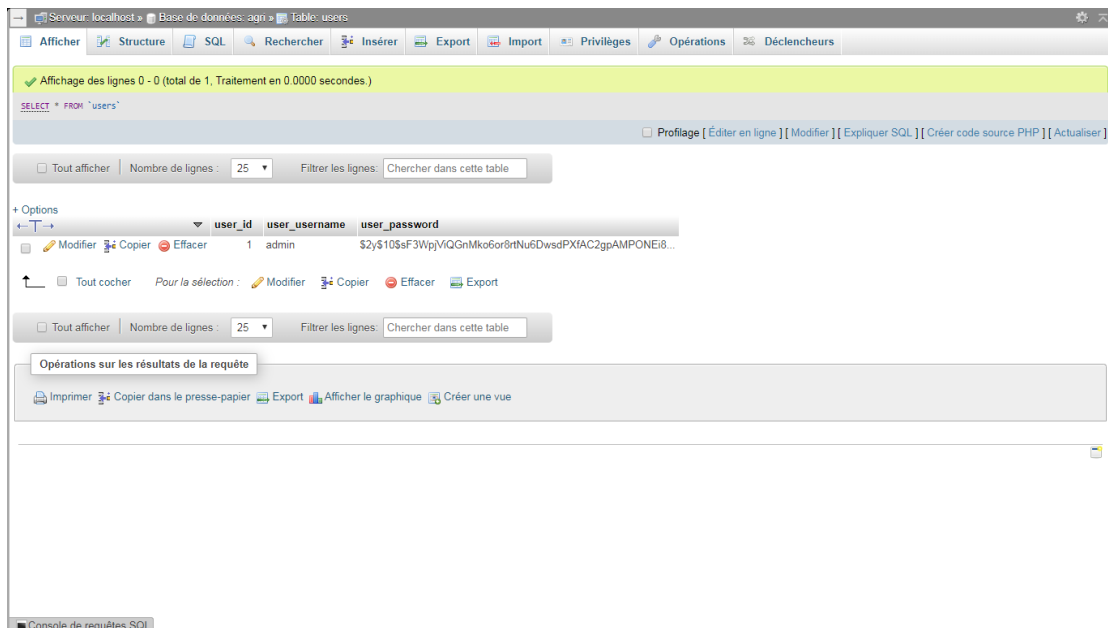


Figure III-9 La table des utilisateurs

### 1.2. Création et développement de l'interface de site web

#### L'HTML :

L'HTML est un langage informatique utilisé sur l'internet. Ce langage est utilisé pour créer des pages web. L'acronyme signifie HyperText Markup Langage, ce qui signifie en français "langage de balisage d'hypertexte". Cette signification porte bien son nom puisqu'effectivement ce langage permet de réaliser de l'hypertexte à base d'une structure de balisage.

C'est la page d'accueil quand aucune session n'a été initialisée.

Dans ce cas, l'utilisateur doit s'identifier en entrant le nom d'utilisateur et le mot de passe exigés pour débiter la session d'utilisation.

C'est une procédure connue et utilisée souvent pour limiter les utilisateurs des applications (par des privilèges), et pour des raisons de sécurité.

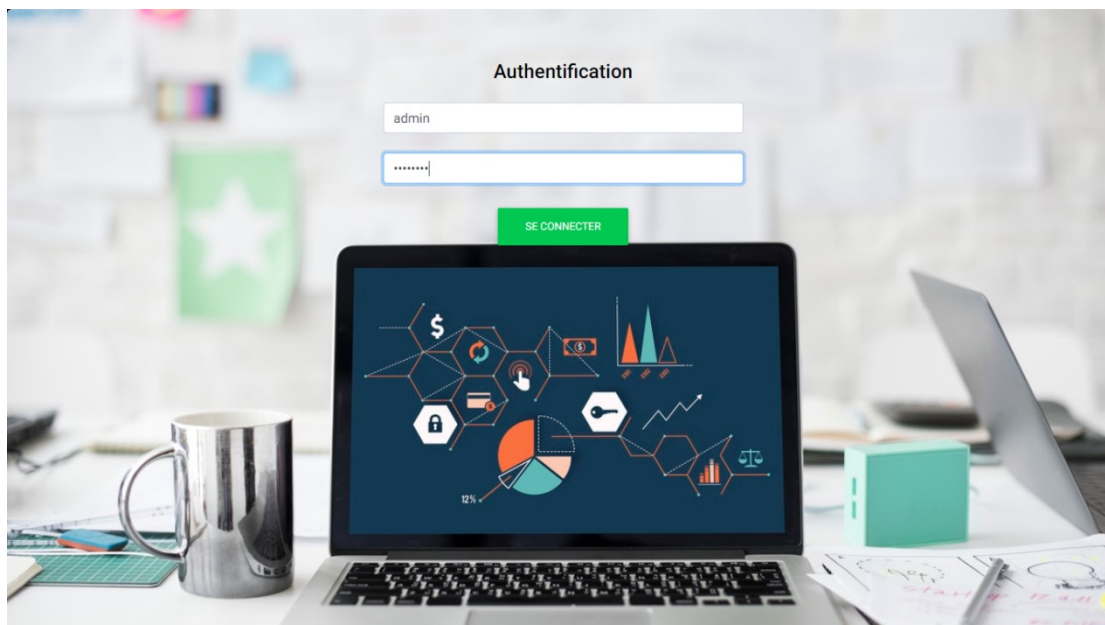


Figure III-10 Page d'Accueil

Cette page est la première page que l'utilisateur puisse voir après avoir établi une connexion.

C'est une liste de tous les produits sauvegardés dans la base de données, ainsi que leurs IDs et leurs fournisseurs.

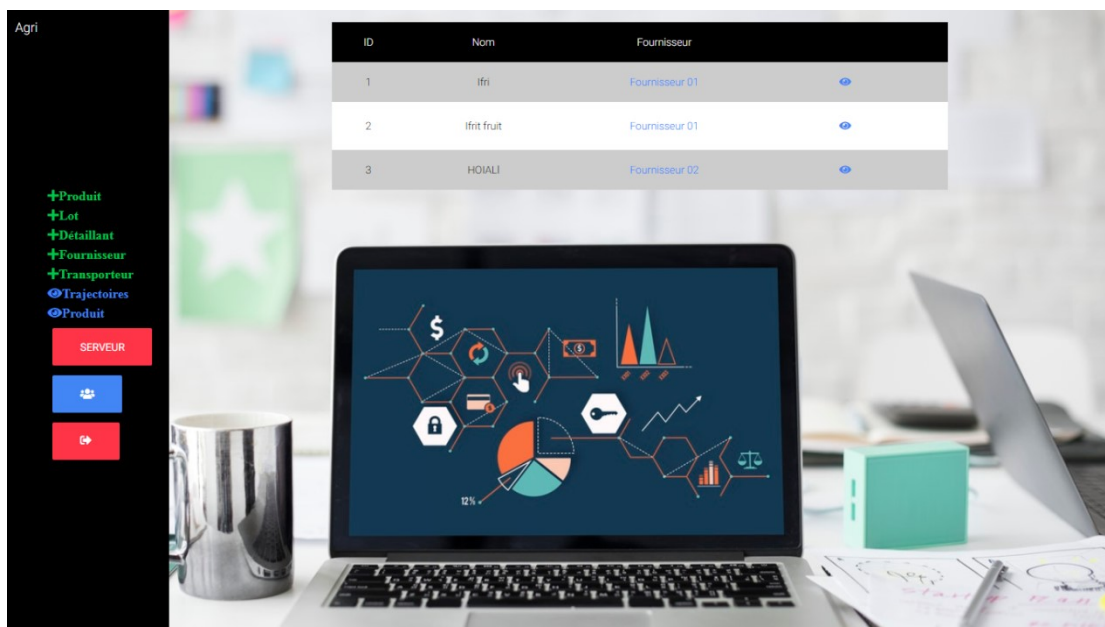


Figure III-11 Page de Connexion

Cette page représente l'ensemble des informations concernant un lot de produits.

Les informations qu'on peut trouver dans cette page sont le nom/type de produits du lot, le nom/ID du lot (qui a une relation direct avec son RFID), le nom du fournisseur des produits de ce lot, l'état actuel de ce lot (température en C°, Humidité et Gaz)...

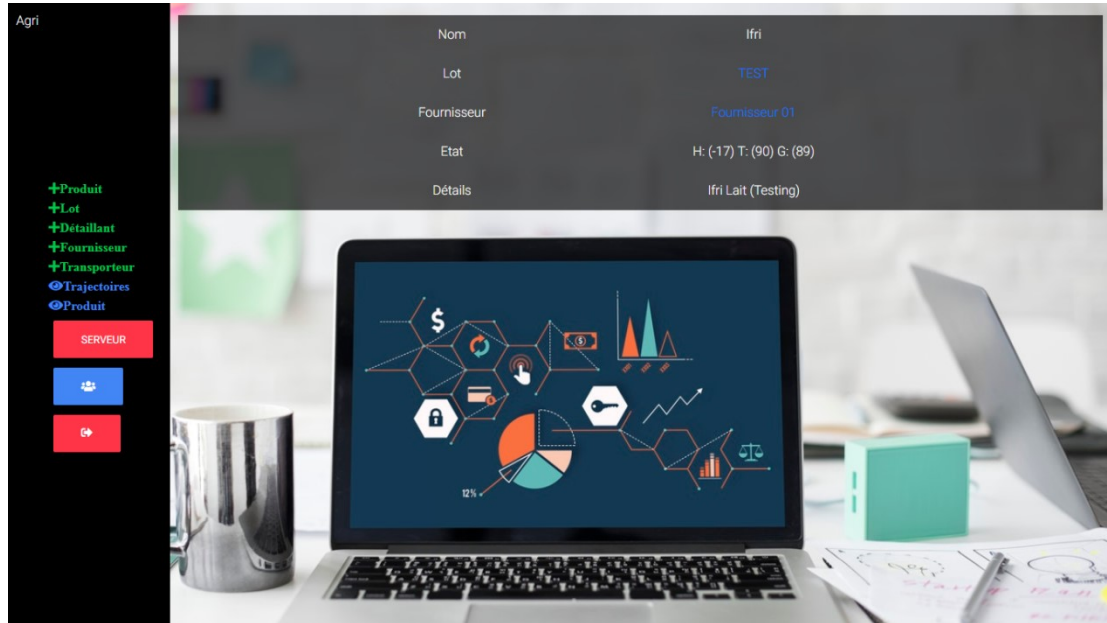


Figure III-12 Page d'Informations sur un Lot

En cliquant sur un lot (par exemple TEST qui est en bleu), on peut voir l'historique de ce lot qui est un ensemble d'informations (Transporteurs, Humidité, Température, Gaz et localisation GPS) dans un temps donné (sous format Année-Mois-Jour Heure:Minute:Seconde)...

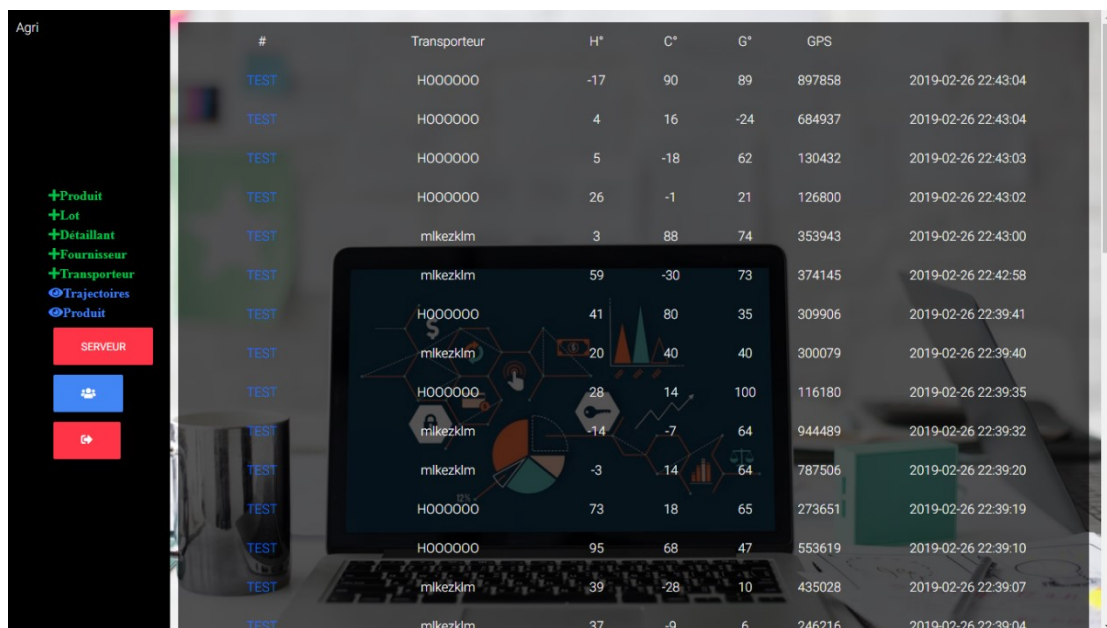


Figure III-13 Historique du lot

Cette page est une des pages permettant la visualisation de données en temps réel, elle présente dans une liste toutes les trajectoires en cours, avec le nom du transporteur, le lot qu'il transporte ainsi que son état (Humidité, Température, Gaz et localisation GPS actuels).

#	Transporteur	H°	C°	G°	GPS
TEST	H000000	-17	90	89	897858 2019-02-26 22:43:04
TEST2	H000000	15	-26	17	607575 2019-02-26 22:42:58
SDK	mikezkim	97	14	80	183380 2019-02-26 22:43:01
ldez	mikezkim	92	24	-20	599121 2019-02-26 22:43:07
DERNI	mikezkim	65	3	-27	29113 2019-02-26 22:43:09

Figure III-14 Page de trajectoires en cours, temps réel.

Les pages permettent l'ajout de données dans la base de données; L'utilisateur peut donc ajouter de nouveaux produits (Nom, RFID/Lot, Code QR, Type, Fournisseur...), de nouveaux lots (RFID), de nouveaux détaillants, transporteurs ou fournisseurs..

Ajout d'un nouveau produit

Nom

RFID

Code QR

Type

Fournisseur

Détails

AJOUTER

Figure III-15 Ajout d'un nouveau produit

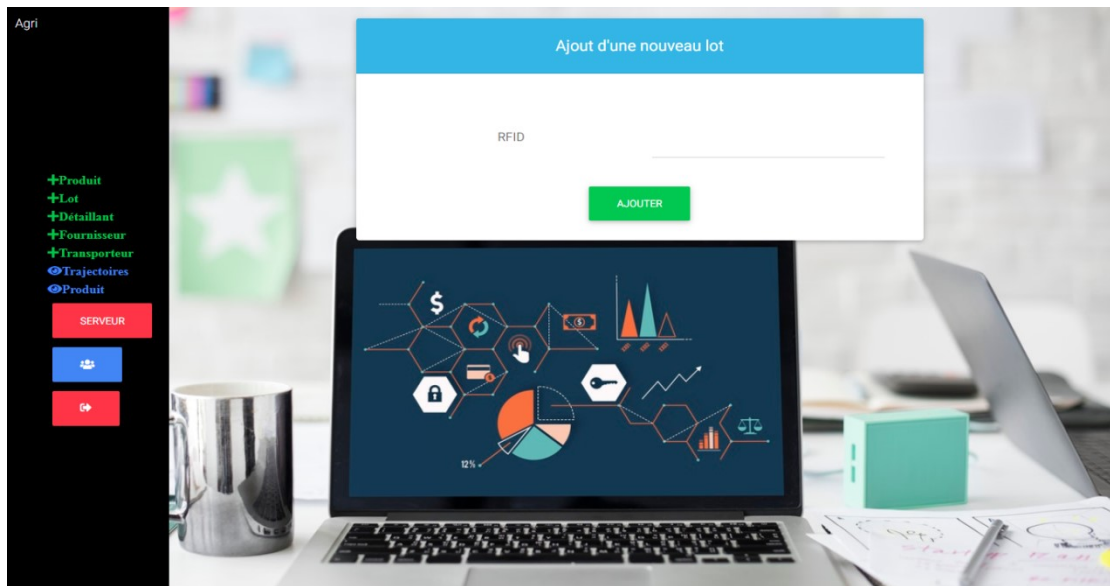


Figure III-16 Ajout d'un nouveau lot

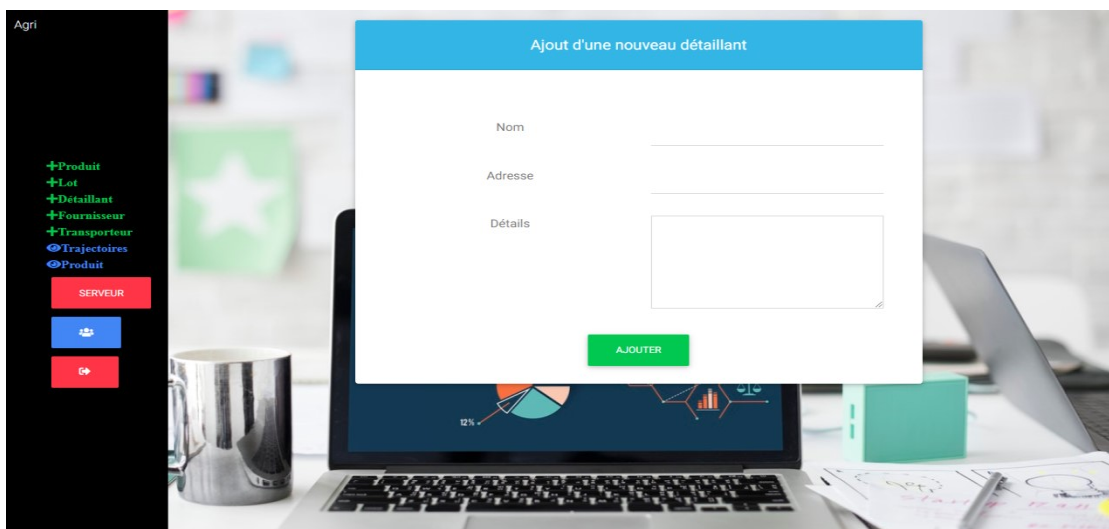


Figure III-17 Ajout d'un nouveau détaillant

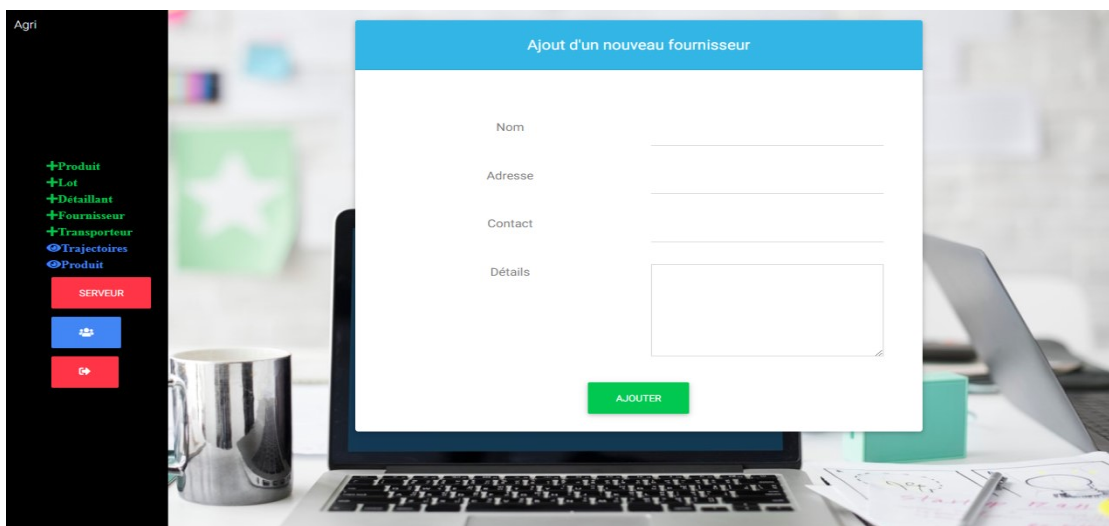


Figure III-18 Ajout d'un nouveau fournisseur

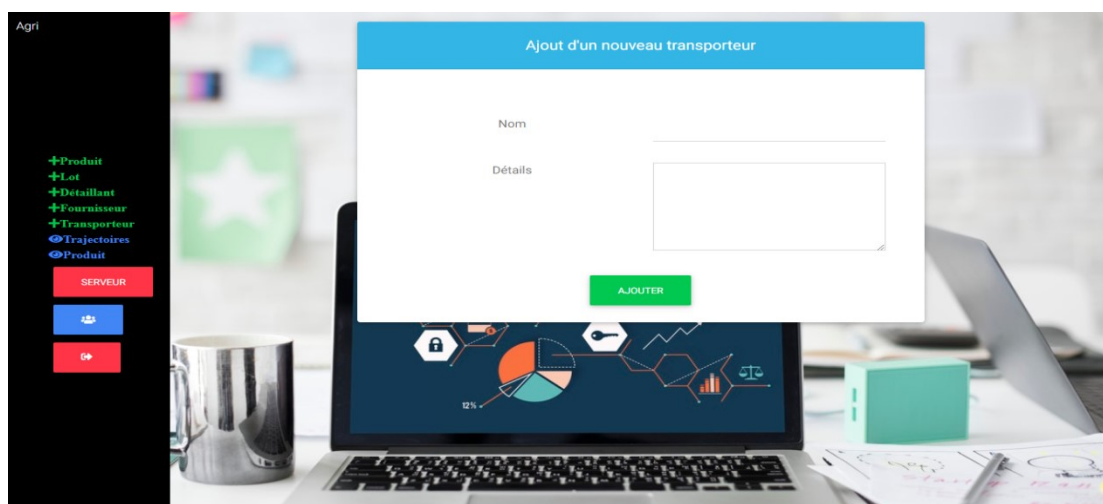


Figure III-19 Ajout d'un nouveau transporteur



## 2.Partie Hardware

### 2.1.Présentation de l'Arduino

Arduino est une plate-forme de prototypage d'objets interactifs à usage créatif constituée d'une carte électronique et d'un environnement de programmation, sans tout ne connaître ni tout comprendre de l'électronique, cet environnement matériel et logiciel permet à l'utilisateur de formuler ses projets par l'expérimentation directe avec l'aide de nombreuses ressources disponibles en ligne [44].

Pont tendu entre le monde réel et le monde numérique, Arduino permet d'étendre les capacités de relations humain/machine ou environnement/machine, Arduino est un projet en source ouverte : la communauté importante d'utilisateurs et de concepteurs permet à chacun de trouver les réponses à ses questions [45].

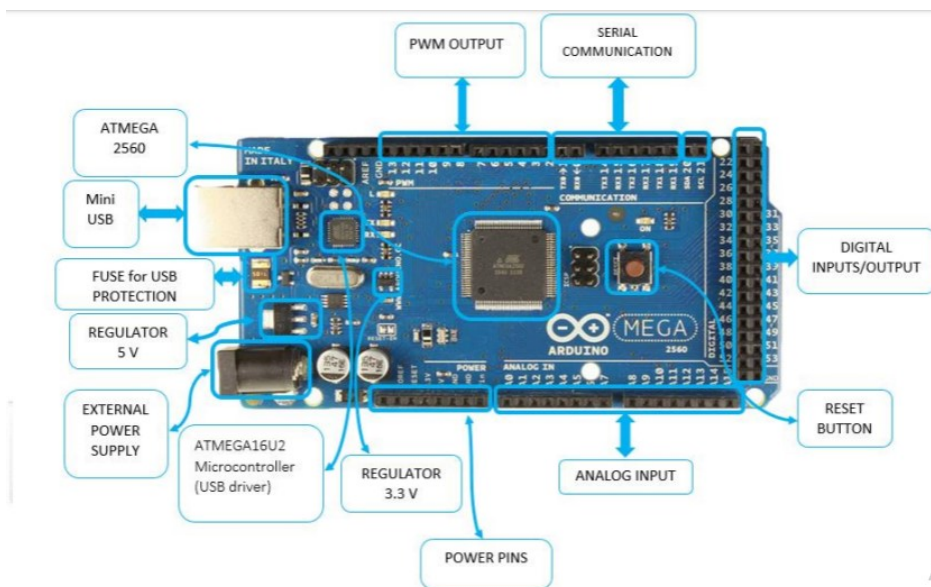


Figure III-20 la carte Arduino Méga

#### La carte Arduino Mega 2560

La MEGA est une carte composée de bien plus d'entrées/sorties (16 analogiques et 54 digitales pouvant fournir jusqu'à 20mA), mais ses 70 I/O (au total) ne sont pas ses seuls avantages, la MEGA 2560 dispose de 256Kb de mémoire flash ainsi que 8Kb de mémoire flash [45].

De plus cette carte dispose de ports série matériel (UART). Mais pour accueillir ses 70 I/O il faut de l'espace donc la carte mesure 101mm\*53mm, pas simple de la fixer sur un petit robot [45].

La Méga dispose des mêmes connecteurs USB et DC 2.5mm que la UNO, et les shields (extensions venant s'ajouter au-dessus de votre carte) compatibles avec la UNO sont compatibles avec le méga, le clone de la shop ajoute une prise UART supplémentaire disponible, par rapport à l'Arduino méga originale [45].

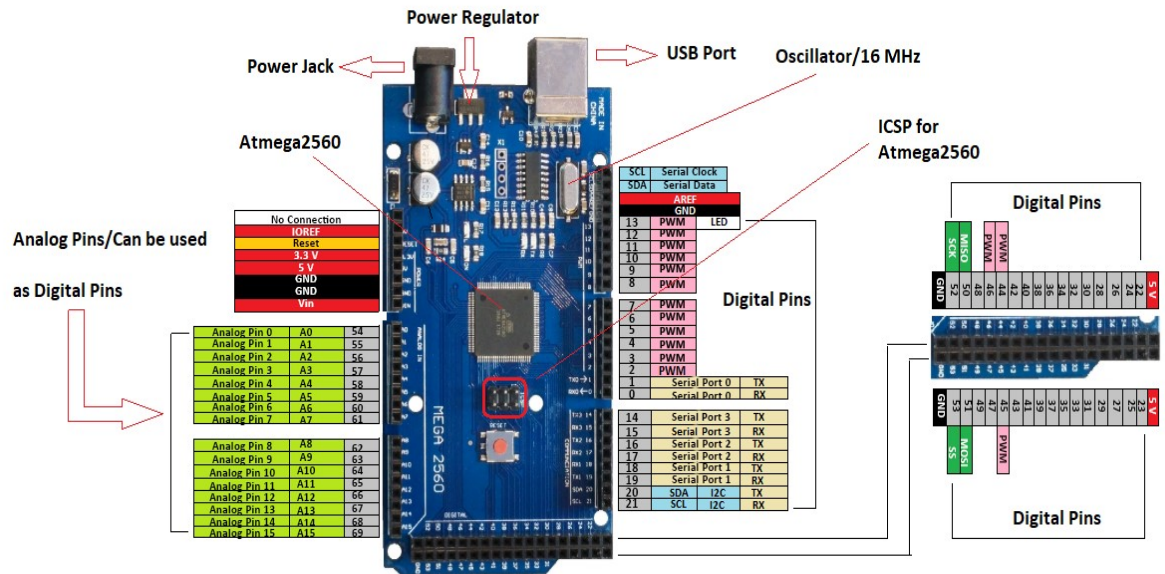


Figure III-21 les différents pins de Arduino Mega2560

<b>Microcontrôleur</b>	<b>AT Méga2560</b>
<b>Tension de fonctionnement</b>	5V
<b>Tension d'alimentation (recommandée)</b>	7-12V
<b>Tension d'alimentation (limites)</b>	6-20V
<b>Broches E/S numériques</b>	54 (dont 14 disposent d'une sortie PWM)
<b>Broches d'entrées analogiques</b>	16 (utilisables en broches E/S numériques)
<b>Intensité maxi disponible par broche E/S (5V)</b>	40 mA (ATTENTION : 200mA cumulé pour l'ensemble des broches E/S)
<b>Intensité maxi disponible pour la sortie 3.3V</b>	50 Ma
<b>Intensité maxi disponible pour la sortie 5V</b>	Fonction de l'alimentation utilisée - 500 mA max si port USB utilisé seul
<b>Mémoire Programme Flash</b>	256 KB dont 8 KB sont utilisés par le boot loader
<b>Mémoire SRAM (mémoire volatile)</b>	8 KB
<b>Mémoire EEPROM (mémoire non volatile)</b>	4 KB
<b>Vitesse d'horloge</b>	16 MHz

Tableau III-1 fiche technique de Arduino Méga 2560

## Alimentation

L'Arduino Méga 2560 peut être alimenté via la connexion USB ou avec une alimentation externe. La source d'alimentation est sélectionnée automatiquement.

L'alimentation externe (non USB) peut provenir d'un adaptateur AC-DC (chargeur secteur) ou d'une batterie. L'adaptateur peut être connecté en branchant une fiche positive centrale de 2,1 mm dans la prise d'alimentation de la carte. Les fils d'une batterie peuvent être insérés dans les embases GND et Vin du connecteur d'alimentation.

La carte peut fonctionner avec une alimentation externe de 6 à 20 volts. Cependant, si elle est fournie avec moins de 7 V, la broche 5 V peut fournir moins de cinq volts et la carte peut devenir instable. Si vous utilisez plus de 12V, le régulateur de tension peut surchauffer et endommager la carte. La plage recommandée est de 7 à 12 volts. Les broches d'alimentation sont les suivantes :

- Vin, la tension d'entrée sur la carte lorsqu'elle utilise une source d'alimentation externe (par opposition à 5 volts de la connexion USB ou d'une autre source d'alimentation régulée), vous pouvez alimenter en tension via cette broche ou, si vous alimentez en tension via la prise d'alimentation, y accéder via cette broche.
- 5V, cette broche émet un signal 5V régulé du régulateur sur la carte. La carte peut être alimentée par la prise d'alimentation CC (7 - 12V), le connecteur USB (5V) ou la broche VIN de la carte (7-12V), l'alimentation en tension via les broches 5V ou 3,3V contourne le régulateur et peut endommager votre carte, nous ne le conseillons pas.
- 3V3, une alimentation de 3,3 volts générée par le régulateur embarqué, le courant maximal consommé est de 50 mA.
- GND, Broches de terre.
- IOREF, cette broche sur la carte fournit la référence de tension avec laquelle le microcontrôleur fonctionne, un blindage correctement configuré peut lire la tension des broches IOREF et sélectionner la source d'alimentation appropriée ou activer les convertisseurs de tension sur les sorties pour fonctionner avec les tensions 5V ou 3,3V [46].

### La mémoire

L'ATmega2560 dispose de 256 Ko de mémoire flash pour stocker le code (dont 8 Ko sont utilisés pour le chargeur de démarrage), 8 Ko de SRAM et 4 Ko d'EEPROM.

### Les broches : Entrées et sorties :

Chacune des 54 broches numériques du Méga peut être utilisée comme entrée ou sortie à l'aide des fonctions `pinMode ()`, `digitalWrite ()` et `digitalRead ()`, ils fonctionnent à 5 volts, chaque broche peut fournir ou recevoir 20 mA dans les conditions de fonctionnement recommandées et possède une résistance de tirage interne (déconnectée par défaut) de 20 à 50 kOhm. Un maximum de 40 mA est la valeur à ne pas dépasser pour éviter des dommages irréversibles au microcontrôleur [46].

De plus, certaines épingle ont des fonctions spécialisées :

- Série : 0 (RX) et 1 (TX) ; Série 1 : 19 (RX) et 18 (TX); Série 2: 17 (RX) et 16 (TX) ;

- Série 3: 15 (RX) et 14 (TX). Utilisé pour recevoir (RX) et transmettre (TX) des données série TTL, les broches 0 et 1 sont également connectées aux broches correspondantes de la puce série USB-to-TTL ATmega16U2 ;
- Interruptions externes : 2 (interruption 0), 3 (interruption 1), 18 (interruption 5), 19 (interruption 4), 20 (interruption 3) et 21 (interruption 2). Ces broches peuvent être configurées pour déclencher une interruption à un niveau bas, un front montant ou descendant ou un changement de niveau. Voir la fonction `attachInterrupt ()` pour plus de détails ;
- PWM: 2 à 13 et 44 à 46. Fournissez une sortie PWM 8 bits avec la fonction `analogWrite ()` ;
- SPI: 50 (MISO), 51 (MOSI), 52 (SCK), 53 (SS), ces broches prennent en charge la communication SPI à l'aide de la bibliothèque SPI, les broches SPI se trouvent également sur l'en-tête ICSP, qui est physiquement compatible avec les cartes Arduino / Genuino Uno et les anciennes cartes Duemilanove et Diecimila Arduino ;
- DEL: 13 Une DEL intégrée est connectée à la broche numérique 13. Lorsque la broche a une valeur HIGH, la DEL est allumée, lorsque la broche est BAS, elle est éteinte ;
- TWI: 20 (SDA) et 21 (SCL). Prise en charge de la communication TWI à l'aide de la bibliothèque Wire, notez que ces broches ne se trouvent pas au même emplacement que les broches TWI des anciennes cartes Duemilanove ou Diecimila Arduino [46].

## 2.2. Capteur de température et d'humidité DHT11

Le premier capteur à être installé et testé est le DHT11, un capteur numérique d'humidité relative et de température qui, en utilisant un capteur d'humidité capacitif et une thermistance mesurant l'air environnant, crache un signal numérique sur la broche de données.

Le capteur doit être alimenté entre 3,3 V et 5 V (et fonctionnera de  $-40^{\circ}\text{C}$  à  $+80^{\circ}\text{C}$  avec une précision de  $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$  pour la température et  $\pm 2\%$  pour l'humidité relative.) Il est important de garder à l'esprit que sa période de détection est en moyenne 2 secondes (temps minimum entre les lectures) [47].

Le brochage du capteur est le suivant :

- La broche n°1 est la broche d'alimentation (5 volts ou 3.3 volts) ;
- La broche n°2 est la broche de communication. Celle-ci doit impérativement être reliée à l'alimentation via une résistance de tirage de 4.7K ohms (il s'agit d'une sortie à collecteur ouvert) ;
- La broche n°3 n'est pas utilisée et ne doit pas être câblée ;
- La broche n°4 est la masse du capteur (GND) [47].

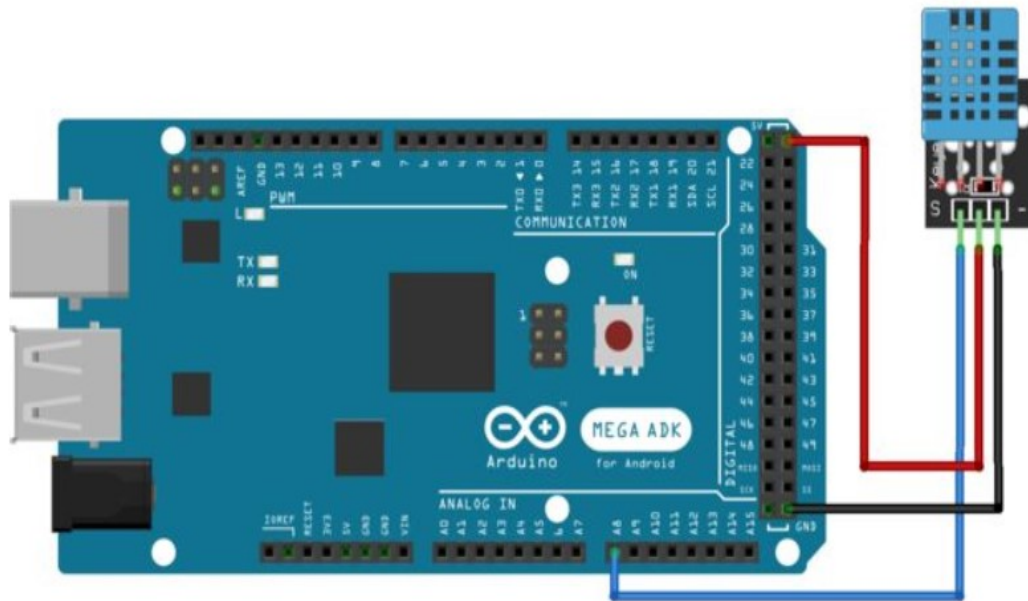


Figure III-22 Montage DHT11 avec Arduino mega 256

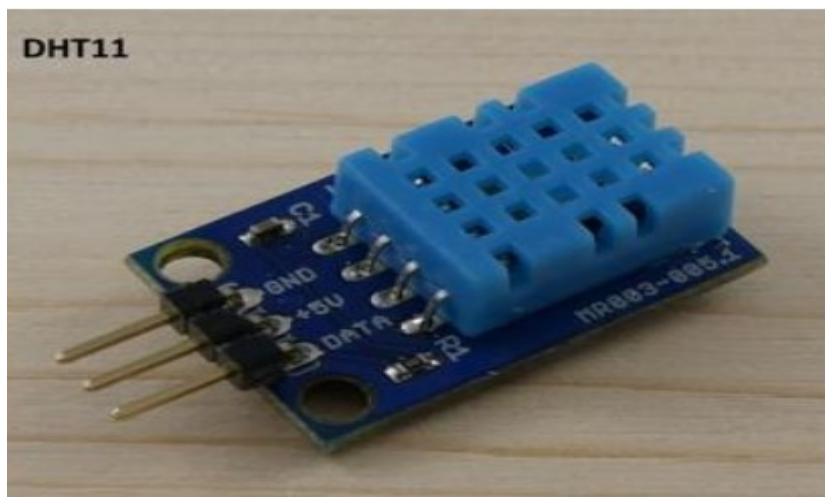


Figure III-23 Capteur DHT 11

### 2.3. Le Bluetooth et le module HC-05

Le Bluetooth est un protocole de communication sans fil. Il a vu le jour à la fin des années 1990 et n'a vraiment percé que dans les années 2000. Il a subi de nombreuses révisions et évolutions pour atteindre aujourd'hui la version 4.1 depuis la fin 2013 [48]. À l'origine, la société Ericsson cherchait à développer un moyen d'utiliser une voie série sans passer par un fil [48]. Petit à petit, ses utilisations se sont étendues pour atteindre ce que l'on connaît aujourd'hui, un moyen de connecter sans fil de nombreux appareils, allant d'un Arduino et sa voie série à un ordinateur, ou pour utiliser un casque audio ou encore une manette de jeu sur une console de salon [48]

Selon le type de composant que vous utilisez (une oreillette Bluetooth, une manette de jeu-vidéo) la communication pourra se faire selon un protocole ou un autre [48]. Dans notre

cas cela consistera simplement en une liaison série. Au final, nous aurons donc le même fonctionnement qu'une liaison série habituelle (partie 3 du tuto Arduino) mais toute la partie "filaire" de la communication sera englobée dans des trames Bluetooth gérées par le module. C'est totalement transparent pour nous (ou presque). Faisons donc un peu plus connaissance avec "HC-05", le petit module Bluetooth si pratique [48].

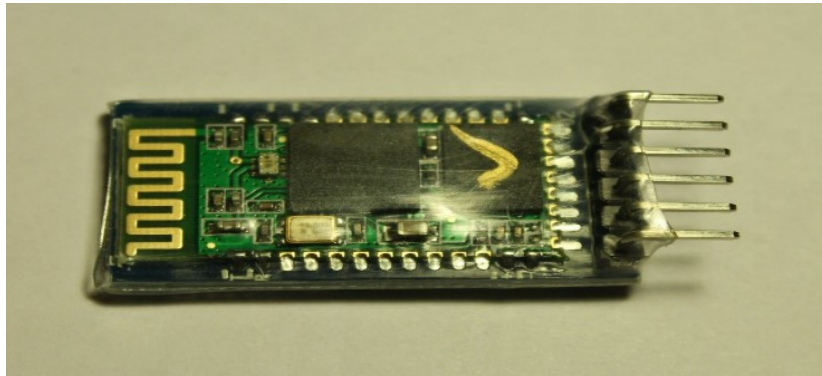


Figure III-24 Le module bluetooth HC-05

### Brancher le module à l'Arduino

Voyons comment brancher tout ça. Tout d'abord, l'alimentation. C'est assez habituel, le VCC sera relié au 5V de l'Arduino et le GND à la masse [48].

Ensuite, viennent les broches de transmission de données, Rx et Tx. Vous pourrez au choix les connecter aux broches de liaison série de l'Arduino (0 et 1) pour utiliser la voie série native, ou alors les brancher sur n'importe quel autre pin afin de garder la voie série disponible pour du debug avec l'ordinateur (ce que je conseille). Nous reviendrons sur ce point [48] . Il ne reste alors plus que les broches Key et Led. Led sert à connecter une LED de statut, vous pouvez la laisser déconnectée cela n'influencera pas le comportement du module. Key sert à utiliser le mode "commande" du module, avec cette dernière vous pourrez reconfigurer la voie série (vitesse, parité) et d'autres options liées au bluetooth (nom du

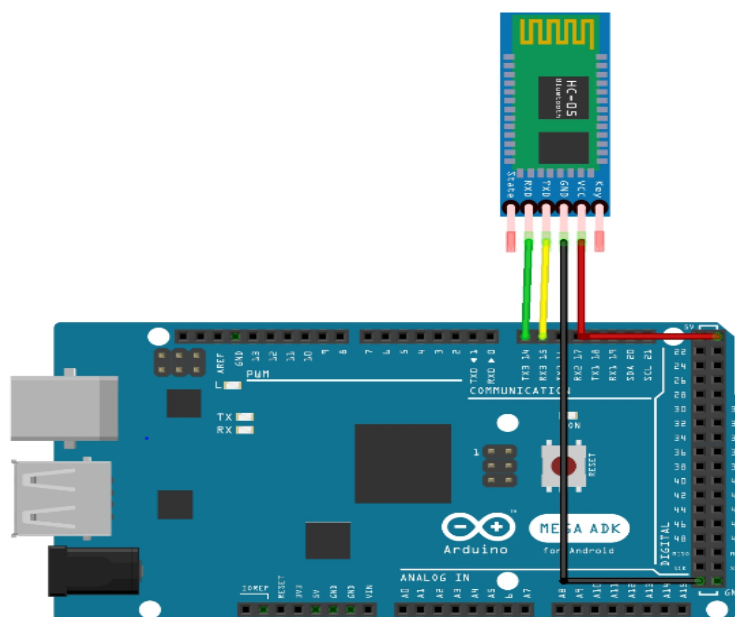


Figure III-25 Câblage de HC-05 avec Arduino Mega2560

module, mot de passe d'appairage, mode esclave/maître...). Cette broche est connectée à n'importe quelle sortie numérique de l'Arduino [48].

Maintenant que le module est connecté, c'est temps de le mettre en œuvre avec notre Arduino, pour garder les choses simples, nous allons simplement faire une connexion qui permet de renvoyer tout sur la voie série de l'ordinateur [48].

## 2.4. Technologie RFID

Le terme « RFID » (Radio Frequency Identification) est une technologie développée pour assurer avec plus de facilité le suivi des marchandises durant leur déplacement dans les processus logistiques. C'est un ensemble composé de [49] :

- Tags (étiquettes RFID) que l'on place sur des unités logistiques (conteneurs, les palettes, les caisses). Chaque étiquette RFID possède un code ePC (Electronic Product Code) qui contient de l'information propre et unique à l'unité logistique (numéro de série, destinataire, transporteur ...). Cette information peut être mise à jour après chaque étape parcourue dans la chaîne logistique.
- De petits terminaux portables munis de capteurs qui détectent et lisent l'information enregistrées dans les étiquettes RFID ;

Un logiciel muni d'une base de données dans laquelle sont stockées des milliers d'informations. Le système informatique associé doit en effet être capable de supporter d'énormes quantités de données générées par les millions de transactions, ensuite les traiter et les convertir en informations utiles et pertinentes [49].

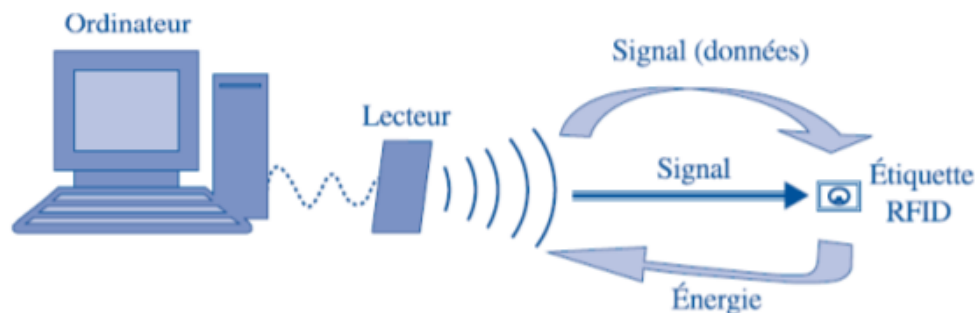


Figure III-26 Fonctionnement de système RFID

Quel que soit leur forme, les étiquettes RFID révèlent un point commun qui est la faculté d'être lues à distance à l'aide d'un signal radio, on distingue les deux catégories suivantes :

- Les étiquettes RFID passives : (les plus nombreuses) elles sont excitées par induction électromagnétique (par l'onde radio émise par le lecteur) et elles renvoient à courte distance un signal convenu, La rétention des données est estimée à 10 ans et 100 000 cycles d'écriture ;
- Les étiquettes RFID actives : (plus coûteuses) équipés d'une source d'énergie (pile ou capteur solaire) et d'une puce, elles peuvent se signaler seules et/ou établir des dialogues plus construits avec le lecteur, leur autonomie va de quelques mois à plusieurs années ;

Les codes EPC des étiquettes RFID sont attribués par l'organisme à but non lucratif EPCGlobal [49].

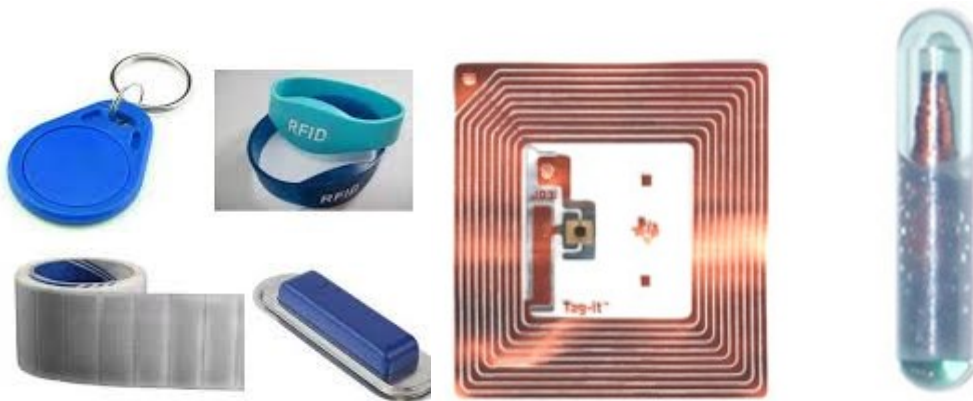


Figure III-27 Types de puces RFID

#### 2.4.1. Fréquences des lecteurs de la technologie RFID

Il existe différentes fréquences des antennes des lecteurs RFID

- BF : basse fréquence - 125 KHz,
- HF : haute fréquence - 13,56 MHz,
- UHF : ultra haute fréquence - 800-930 MHz
- Hyper RF : hyper fréquences ou micro-ondes - 2,45 et 5,8 GHz



Figure III-28 Les lecteur RFID

En règle générale, plus la fréquence est basse et moins le débit de données transmises est important et plus la fréquence est haute, plus les distorsions et les difficultés pour traverser les milieux sont importantes [50].



Le tableau suivant nous montre les bandes de fréquences utilisées dans les trois grandes zones du monde (NB : ce tableau est simplifié, et il regroupe des zones. Mais la réalité est un peu plus compliquée).

	BF	HF	UHF	HyperHF
<b>Sensibilité à l'eau, l'humidité</b>			Relativement sensible de préférence produits secs / atmosphère sèche	Forte sensibilité
<b>Environnement métallique</b>		déploiement susceptible d'être plus difficile	Potentiellement néfaste, s'il n'est pas géré	
<b>Débit</b>	Quelques kbits/s	De l'ordre de 100 kb/s	De l'ordre de quelques centaines de kbits/s	
<b>Portée pratique</b>	type De l'ordre du mètre ; pénètre légèrement le métal	De l'ordre du mètre	De l'ordre de 4-5 m	

Tableau III-2 répartition des fréquences selon la zone géographique

Chaque bande de fréquences a ses avantages et ses inconvénients par rapport au contexte et aux finalités d'utilisation. Les principales caractéristiques liées aux bandes de fréquences sont présentées dans le tableau ci-dessous.

Fréquences	Europe et Afrique	et Amériques sud	nord et Asie et Océanie
<b>BF (125-135kHz) ISO 18000-2</b>	125 kHz	125 kHz	125 kHz
<b>HF (13,56 MHz) ISO 18000-3</b>	13,56 MHz	13,56 MHz	13,56 MHz
<b>UHF (860-960 MHz) ISO 18000-6</b>	865 - 868 MHz	902 - 928 MHz	902 - 928 MHz (Japon 952 - 954 MHz)
<b>HyperHF (2,45 GHz) ISO 18000-4</b>	2,446 - 2,454 GHz	2,427 - 2,47 GHz	2,4 - 2,4835 GHz

Tableau III-3 les principales caractéristiques liées aux bandes de fréquences.

Principaux éléments à prendre en compte lorsque nous engageons dans un projet RFID afin de considérer au mieux les besoins et le système RFID à mettre en place peuvent être résumées comme suit :

- La qualification du besoin de traçabilité et la détermination des quantités à tracer ;
- Définir le matériel le plus adapté en fonction de l’environnement, des types d’objets à tracer, de la présentation des objets (vrac, empilage...) ;
- Identification des données à traiter : type de données, volume de données, les conditions d’échange des données... ;
- Définir la gamme du matériel le plus adapté en fonction du type du matériel (fixe ou mobile), de leur distance de lecture... ;
- Définir la gamme de fréquences qu’il sera possible d’utiliser ;
- Choisir le logiciel RFID d’échange de données et son intégration au système d’information actuel [50] .

### 2.4.2 Le montage avec Arduino et le programme basique

Les pins sont :

////////////////////////////////////

/* RST/Reset	RST	5	D9	RESET/ICSP-5	RST
SPI SS	SDA(SS)	53	D10	10	10
SPI MOSI	MOSI	51	D11	ICSP-4	16
SPI MISO	MISO	50	D12	ICSP-1	14
SPI SCK	SCK	52	D13	ICSP-3	15

\*/

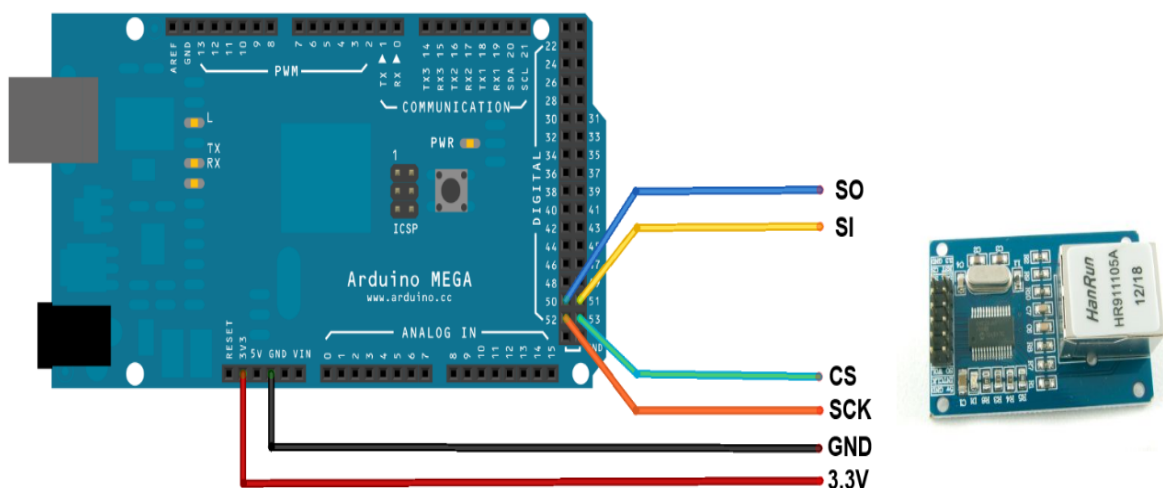


Figure III-29 Câblage RFID RC522 avec Arduino Mega 2560

### 2.4.3. Le programme basique

```

/*
PINOUT:
RC522 MODULE   Uno/Nano   MEGA
SDA             D10        D9
SCK             D13        D52
MOSI           D11        D51
MISO           D12        D50
IRQ            N/A        N/A
GND            GND        GND
RST            D9         D8
3.3V           3.3V      3.3V
*/
/* Include the standard Arduino SPI library */
#include <SPI.h>
/* Include the RFID library */
#include <RFID.h>

/* Define the DIO used for the SDA (SS) and RST (reset) pins. */
#define SDA_DIO 9
#define RESET_DIO 8
/* Create an instance of the RFID library */
RFID RC522(SDA_DIO, RESET_DIO);

void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  /* Enable the SPI interface */
  SPI.begin();
  /* Initialise the RFID reader */
  RC522.init();
}

void loop()
{
  /* Has a card been detected? */
  if (RC522.isCard())
  {
    /* If so then get its serial number */
    RC522.readCardSerial();
    Serial.println("Card detected:");
    for(int i=0;i<5;i++)
    {
      Serial.print(RC522.serNum[i],DEC);
      //Serial.print(RC522.serNum[i],HEX); //to print card detail in Hexa Decimal format
    }
    Serial.println();
    Serial.println();
  }
  delay(1000);
}

```

## 2.5. Maquette finale

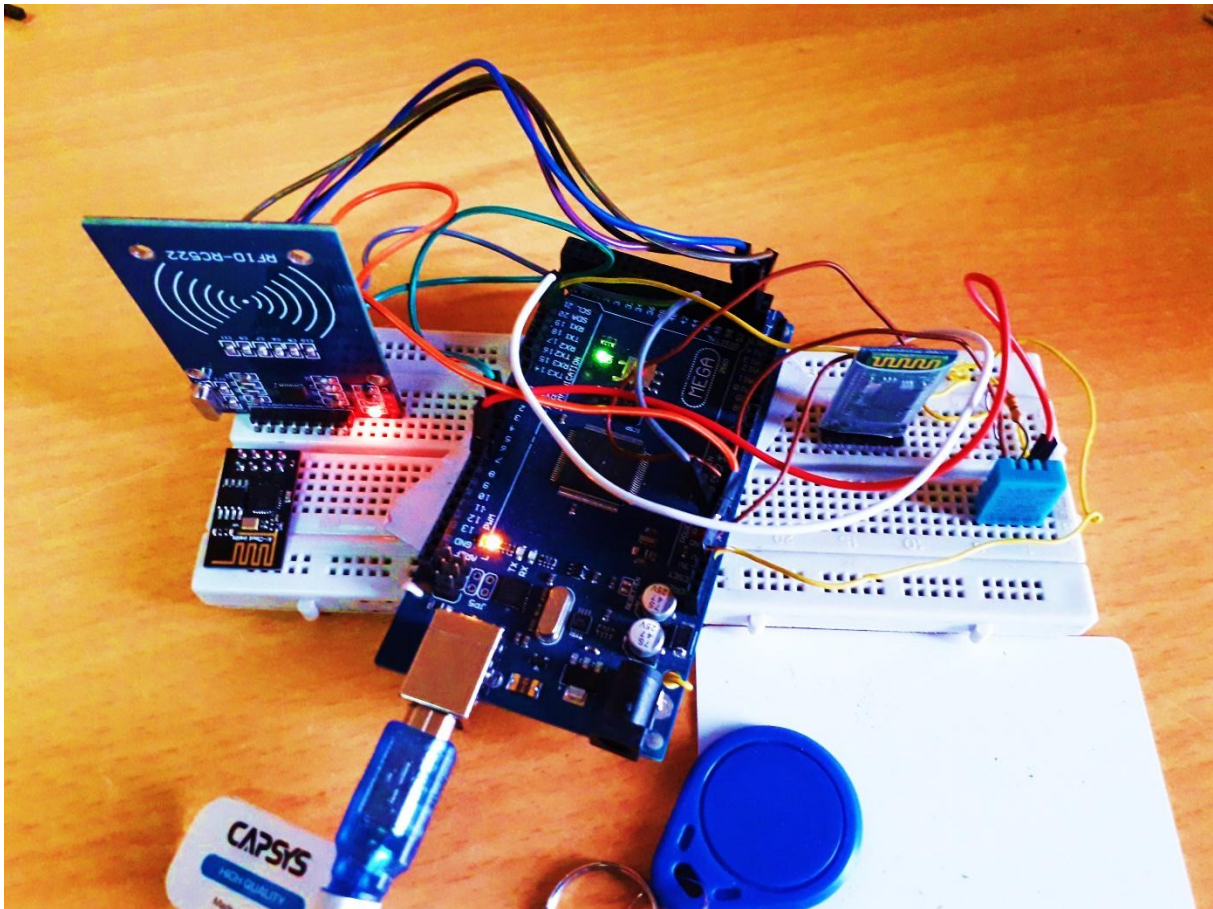


Figure III-30 Montage de la maquette finale

## 2.6. Description du système

La maquette est installée au sein du moyen de transport (un camion par exemple), qui peut transporter plusieurs lots (contenant des matières premières distribuées par des fournisseurs). Ces lots sont transportés à l'usine afin de transformer les matières premières en produits finis (de différents types, par exemple yaourt, lait...) qui seront transportés, à leur tour dans des lots (pour chaque type de produit) aux différents détaillants affiliés, et grâce aux RFID installés sur chaque lot, on peut faire leur traçabilité, ainsi que la traçabilité des produits contenus dans ces lots.

Il existe une base de données qui contient les informations nécessaires concernant les différents transporteurs, fournisseurs, détaillants, produits... La maquette fait un contrôle de l'état du lot (mesure de température, d'humidité) puis transmet ces données à un smartphone qui avertit le transporteur en cas de problèmes, et au site web. Si le problème peut être résolu

in-situ (un problème qui n'est pas grave), le transporteur lui-même peut s'en occuper, sinon les administrateurs et les superviseurs de l'entreprise vont être avertis afin d'appliquer des solutions plus élaborées. S'il n'existe aucun problème (ou tout problème est résolu), et que les lots arrivent à leur destination comme prévue (aux détaillants), le détaillant doit consulter le site web et faire des scans de codes QR (un échantillon) pour voir si les lots sont en bon état : si un produit tiré d'un lot est bon, tout le lot est considéré bon. Cette information va être enregistrée sur la base des données pour permettre aux clients de consulter le site web (la page des produits) et voir l'état des produits qu'ils achètent. Ceci nous permet de suivre les produits depuis leur production jusqu'à leur distribution aux consommateurs, et ainsi connaître leur état.

Une deuxième proposition est de placer des maquettes chez les détaillants afin de permettre aux clients de tester l'état des produits avant leur achat. Ceci peut aussi être un moyen pour déterminer la qualité de service et la qualité des produits des détaillants.

## 2.7. Architecture du système :

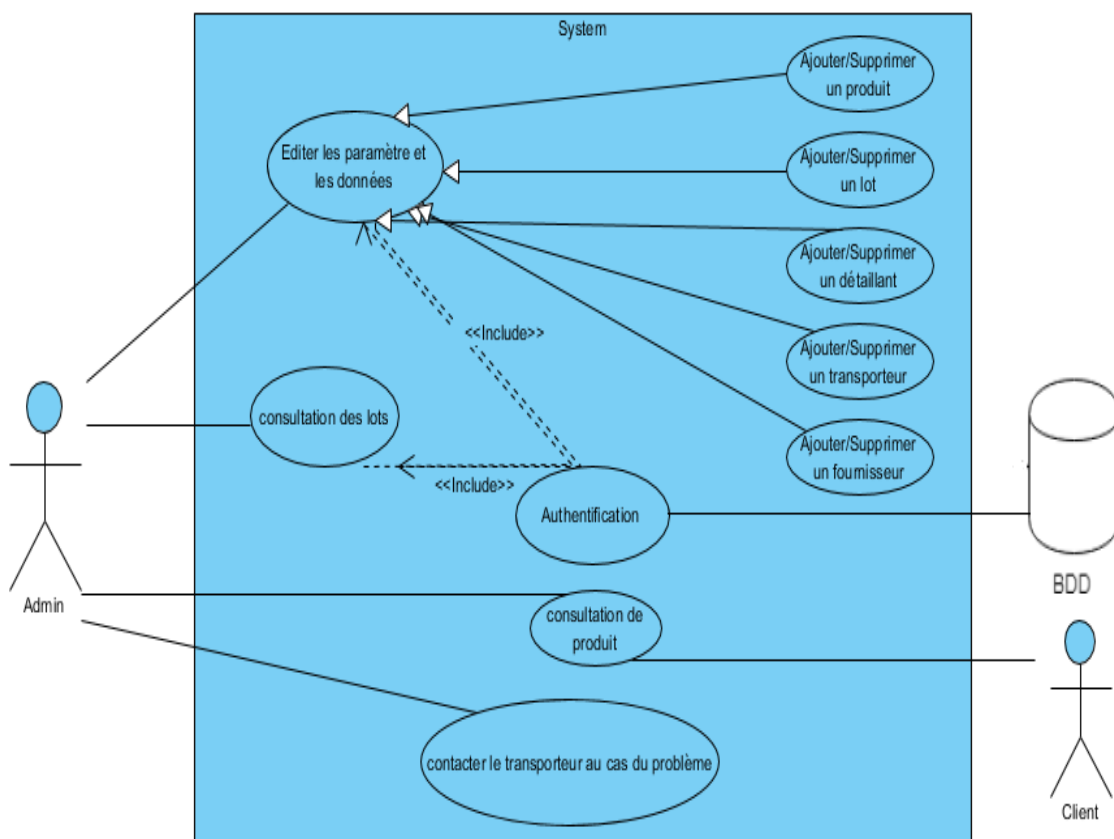


Figure III-31 Schéma de communication du système

Cette figure, représente un diagramme *UML*, utilisés pour le bon déroulement du développement de la plateforme de création et de visualisation des données des lots et de contrôler le conditionnement des produits.

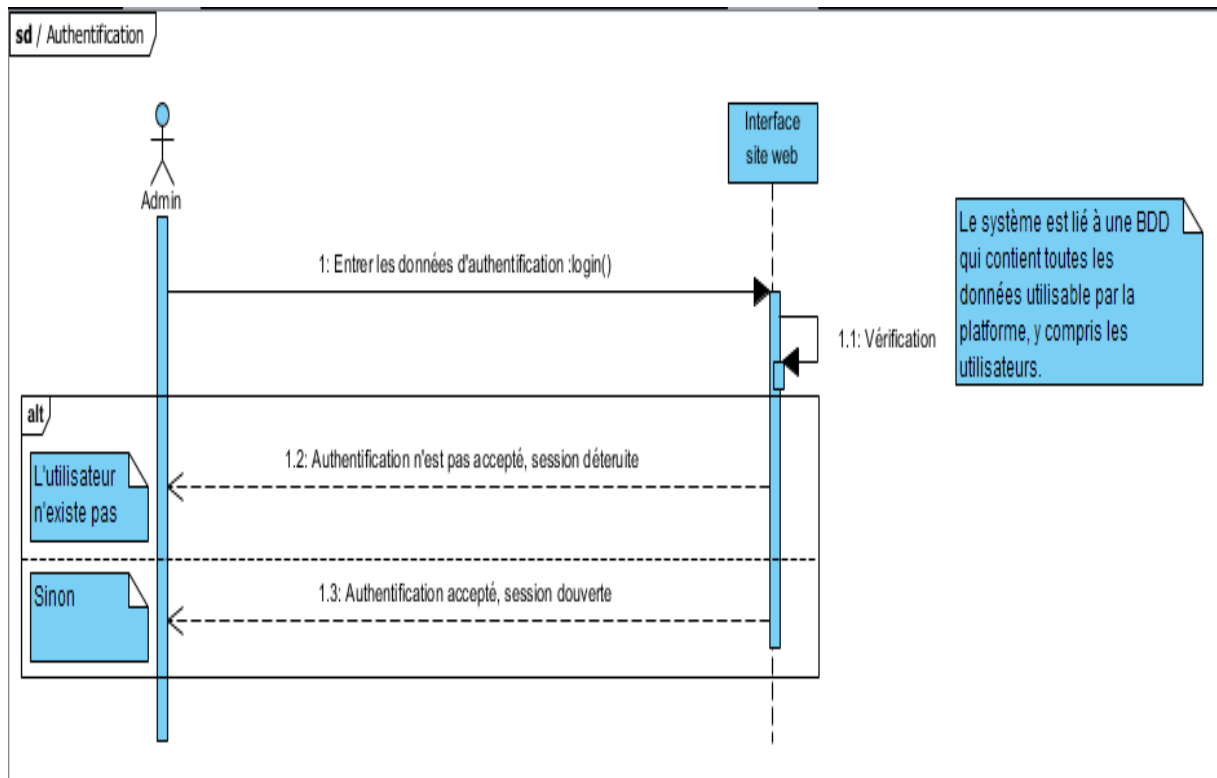


Figure III-32 système d'authentification de l'interface

L'administrateur ne peut utiliser cette plateforme qu'après avoir enregistré une session, une authentification est donc requise ; Pour s'authentifier (et pour n'importe quelle autre opération de visualisation, ajout, modification de données et d'exportation de tableaux), une base de données doit être créée et liée à la plateforme.

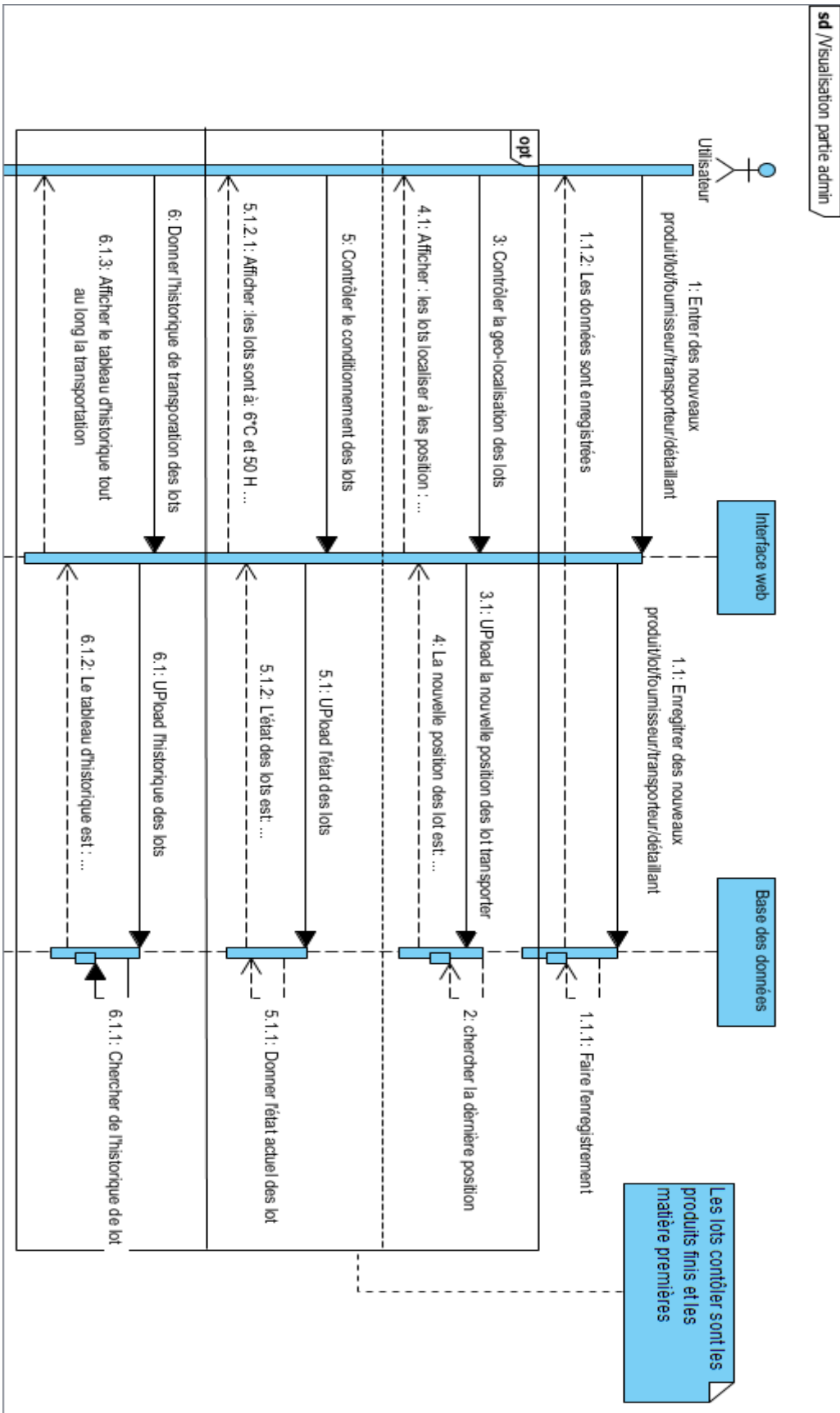


Figure 1e

séquencement de visualisation des données

Ce diagramme de séquence représente le séquençement de visualisation de n'importe quelle donnée sur le système. Il est à noter que la visualisation se fait depuis la BDD grâce l'interface web.

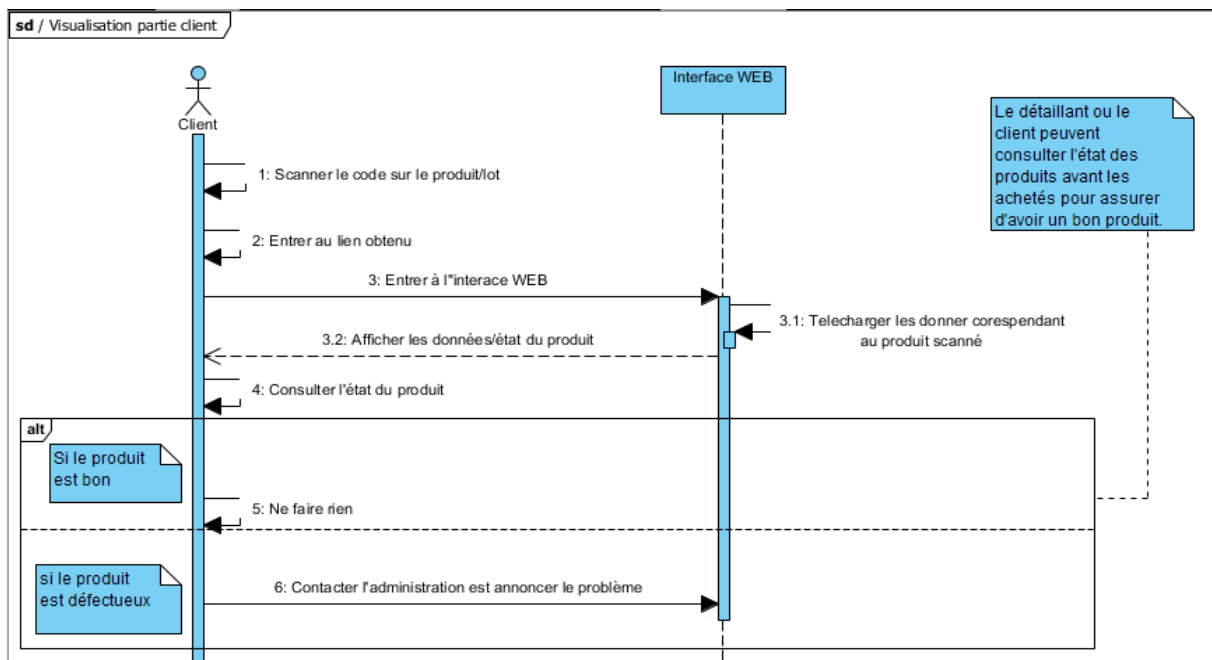


Figure III-34 le séquençement de visualisation des données par le client



## Conclusion

Après avoir collecté les données de conditionnement, soit en endroits de stockage ou des camions de transport à travers les capteurs placés dans les maquettes présentes dans ces endroits, le client peut visualiser l'état des différents produits en scannant le code QR qui se trouve sur leurs emballages.

Les données transmises entre les maquettes, les acteurs au long de la chaîne logistique et l'application (Android via Bluetooth), nous informe en temps réel des changements appliqués sur l'état des produits.

L'application renvoie ces données en ajoutant les coordonnées (géolocalisation GPS) vers le site web pour les traiter et les afficher sous formes de graphes et figures.

Le client peut avoir accès aux différentes informations afin de vérifier la qualité des produits et de déterminer, dans la chaîne logistique où peut se trouver des problèmes (par exemple les produits contaminés chez un détaillant, un transporteur ou un fournisseur...).

## Conclusion générale

Dans ce travail, notre intérêt est porté sur l'introduction de l'internet des objets dans la traçabilité de la chaîne logistique agroalimentaire.

Ayant minutieusement défini la chaîne logistique et particulièrement la chaîne agroalimentaire, nous nous sommes attachés à montrer l'impact des puces RFID sur la production d'une chaîne logistique.

Afin de pouvoir éviter les contrecoups du gaspillage alimentaire entraînant de nombreux effets négatifs, les pertes économiques atteignent mondialement plus de 750 milliards de dollars, les conséquences sur la société et l'environnement sont importantes. Des millions de personnes ne mangent pas à leur faim, alors que 1.3 milliard de tonnes d'aliment comestibles sont jetées chaque année (FAO, 2011). La cause fondamentale des pertes et des gaspillages alimentaires réside dans la mauvaise traçabilité de la chaîne logistique.

Par la suite, nous avons tenté d'améliorer les performances d'une chaîne agroalimentaire, dans notre travail nous nous sommes intéressés à optimiser les pertes et les gaspillages tout en assurant la sécurité des consommateurs par la proposition d'une maquette. Le chapitre (3) est destiné à la constitution de cette maquette et son fonctionnement.

Notre projet d'étude était en relation étroite avec plusieurs autres domaines non négligeables tels que l'automatique, l'électronique appliquée et l'informatique ce qui nous a permis d'acquérir beaucoup d'informations en le réalisant.

Notre projet est vivant, entraînant et motivant pour la suite de nos études. Nous pensons avoir entraperçu une partie de notre future vie active. Plus tard une entreprise pourrait voir le jour axant son objectif sur la traçabilité.

- Pour enrichir ce travail nous pouvons ajouter quelques perspectives tel que :
- Comme toute technologie on peut réduire la taille de la maquette.
- La collaboration avec des entreprises comme ROUIBA, HODNA.....
- On peut ajouter une autre application IOS avec l'application ANDROID.

## Bibliography

- [1] GS1, Business Process and System Requirements for Full Chain Traceability., 2009.
- [2] Gencod-EAN, Traceability in the supply chain: From strategy to practice., 2001.
- [3] S. Tamayo, Exploitation des informations de traçabilité pour l'optimisation des choix en production et en logistique., 2011.
- [4] *Le Monde avec AFP, 9 février 2011.*, 9 février 2011..
- [5] F. Beorchia, Le déploiement de la traçabilité dans l'industrie manufacturière. In SPILOG : Supply chain / Logistique Production / Traçabilité., Lyon, France, 2011.
- [6] F. Stirling-belin, Liberté de circulation et traçabilité dans l'Union Européenne. Economiet et Management., 2008.
- [7] G. Scarset, Traçabilité agro-alimentaire : enjeux et perspectives. Thèse de doctorat. Ecole Nationale Vétérinaire d'Alfort, Faculté de Médecine de Créteil., 2008.
- [8] AFNOR, Traçabilité, retrait / rappel et gestion de crise (Module de soutien ISO 22000), 2009.
- [9] J.-L. Viruéga, Traçabilité : outils, méthodes et pratiques 1st ed. Éditions d'Organisation., Paris, France, 2005.
- [10] Y. Rehby, Petite histoire de la traçabilité. Décodez l'actualité., 2005.
- [11] G. e. a. Larose, SDL : La Traçabilité., Saint Quentin, France., 2010.
- [12] N. Pugh, Principles of product traceability. In A. society Q. Control, ed. Product liability prevention conference., 1973. .
- [13] Sahin et al, Morissey et Almonacid 2005, Vellemans, 2006, Bechini et al, 2008, Wang et al, 2009., 2002, .
- [14] S. M. T. & S. N. Tamayo, Tamayo, S., Monteiro, T. & Sauer, N., 2009. Deliveries optimization by exploiting production traceability information. Engineering Applications of Artificial Intelligence., 2009..
- [15] Y. & F. K. Salaün, \*Information quality: meeting the needs of the consumer. International Journal of Information Management., 2001.
- [16] P. Vellemans, Contribution à la conception d'un outil adapté à l'Opérateur Humain pour la reconstruction d'une traçabilité "approchée". Thèse de doctorat. Université de Reims

Champagne-Ardenne., 2006.

- [17] K. R. P. & V. D. Latouche, Quel prix pour la sécurité alimentaire? Une évaluation contingente suite à la crise européenne de la « vache folle »., 2000.
- [18] a. G. M. & M. R. Regattieri, Traceability of food products: General framework and experimental evidence. *Journal of Food Engineering.*, 2007..
- [19] N. Ballin, Authentication of meat and meat products. *Meat science.*, 2010.
- [20] S. M. T. & S. N. Tamayo, Dispersion optimisation using a genetic algorithm. *International Journal of Advanced Operations Management.*, 2009.
- [21] J. R. Blanchfield, Food labelling. Woodhead Publishing. 2000 ,.
- [22] H. F. M. & G. M. Kim, An ontology of quality for enterprise modelling. In 4th IEEE Workshop on Enabling Technologies: Infrastructure for Collaborative Enterprises (WET ICE)., 1995.
- [23] R. H. Ballou, The evolution and future of logistics and supply chain management. *European business review.*, 2007.
- [24] D. J. & C. D. J. Bowersox, Logística empresarial: o processo de integração da cadeia de suprimento. In *Logística empresarial: o processo de integração da cadeia de suprimento.*, 2007.
- [25] D. L. & D. A. J. Anderson, 5 Predictions that will make you rethink your supply chain. *supply chain management review.*, 2002.
- [26] «supplychaincanada,» [En ligne]. Available: [www.supplychaincanada.org](http://www.supplychaincanada.org). [Accès le 04 Mars 2019].
- [27] «slideshare,» [En ligne]. Available: [fr.slideshare.net](http://fr.slideshare.net). [Accès le 04 Mars 2019].
- [28] M. e. a. Youcef, « Applications des RFID pour l'optimisation d'une chaîne logistique.,» 2016.
- [29] C. Dupuy, «Analyse et conception d'outils pour la traçabilité de produits agroalimentaires afin d'optimiser la dispersion des lots de fabrication. Thèse de doctorat. Institut National de Sciences Appliquées de Lyon.,» 2004.
- [30] E. L'hote, «Les 5 secteurs pour entreprendre en 2018,» [En ligne]. Available: <https://blog.compta-clementine.fr/>. [Accès le 12 Mars 2019].
- [31] I. Saleh, Les enjeux et les défis de l'Internet des Objets (IdO), 217.

- [32] I. B. A. ROXIN, Ecosystème de l'Internet des Objets, 2017.
- [33] K. A. MAVROMMATI I., The evolution of objects into hyper-objects: will it be mostly, 2003.
- [34] W. M., Hot Topics : Ubiquitous Computing, 1993.
- [35] W. M., The computer for the XXIe century, 1991.
- [36] S. S. SZONIECKY S., Modélisation éthique de l'Internet des Objets, 2017.
- [37] «Cluster of European Research Projects on the internet of Things,» 2010.
- [38] BENGHOZI, Pierre-Jean ; BUREAU, Sylvain, MASSIT-FOLLEA, Françoise., «L'Internet des objets : Quels enjeux pour l'Europe,» [En ligne]. Available: <http://books.openedition.org/editionsmsmh/78>>. ISBN : 9782735115877. DOI : 10.4000/books.editionsmsmh.78. . [Accès le 05 06 2019].
- [39] David R. Gnimpieba Z, Ahmed Nait-Sidi-Moh, David Durand, Jérôme Fortin., Internet des objets et interopérabilité des flux, 2014.
- [40] N. S., Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System, 2008.
- [41] H. Ali, implémentation d'un protocole d'élection d'un serveur d'authentification dans l'internet des Objets, 2017.
- [42] «INTERNET DES OBJETS LES BUSINESS MODELS REMIS EN CAUSE,» [En ligne]. Available: <https://www.oliverwyman.com/our-expertise/insights/2015/jun/internet-of-things.html>.. [Accès le 25 05 2019].
- [43] M. Thierry, «L'INTERNET DES OBJETS en 2016,» [En ligne]. Available: <https://www.supinfo.com/articles/single/3348-internet-objets>.
- [44] «Présentation de la carte arduino,» [En ligne]. Available: [//larajtekno.info](http://larajtekno.info).
- [45] «Introduction à Arduino,» [En ligne]. Available: [http://www.unilim.fr/pages\\_perso/deneuville/docs/Info2PC/Cours4handout.pdf](http://www.unilim.fr/pages_perso/deneuville/docs/Info2PC/Cours4handout.pdf). [Accès le 02 06 2019].
- [46] «Store Home : Arduino Mega 2560 Rev3,» [En ligne]. Available: <https://store.arduino.cc/mega-2560-r3>. [Accès le 06 2019].
- [47] «DHT11 Temperature & Humidity Sensor,» [En ligne]. Available: <https://www.mouser.com/ds/2/758/DHT11-Technical-Data-Sheet-Translated-Version-1143054.pdf>. [Accès le 6 2019].

- [48] «Utiliser un module Bluetooth HC-05 avec Arduino,» 3 12 2010. [En ligne]. Available: <https://eskimon.fr/tuto-arduino-907-utiliser-un-module-bluetooth-hc-05-avec-arduino#le-bluetooth-et-le-module-hc-05>. [Accès le 6 2019].
- [49] «Technologie RFID, Radio Frequency Identification,» [En ligne]. Available: <http://www.logistiqueconseil.org/Articles/New-tech/Technologie-rfid.htm>. [Accès le 6 2019].
- [50] D. Bilal, «Optimisation d'une chaîne logistique par l'intégration,» 5 2016. [En ligne]. Available: <http://dspace.univ-tlemcen.dz/bitstream/112/11679/1/Ms.ELN.Derradji.pdf>. [Accès le 6 2019].
- [51] «supplychaincanada,» 04 Mars 2019. [En ligne]. Available: [www.supplychaincanada.org](http://www.supplychaincanada.org).
- [52] Eskimon, «Utiliser un module Bluetooth HC-05 avec Arduino,» 03 12 2010. [En ligne]. Available: <https://eskimon.fr/tuto-arduino-907-utiliser-un-module-bluetooth-hc-05-avec-arduino#le-bluetooth-et-le-module-hc-05>. [Accès le 6 2019].
- [53] «DHT 11 Humidity & Temperature Sensor,» [En ligne]. Available: <https://www.mouser.com/ds/2/758/DHT11-Technical-Data-Sheet-Translated-Version-1143054.pdf>. [Accès le 6 2019].

## Résumé

L'amélioration du système de traçabilité de la chaîne logistique agroalimentaire est le sujet le plus rénovant. Les chercheurs de ce domaine se basent sur la technologie de réseau, et serveur /client qui fait appel à diverses technologies de nouveauté, détection, collection, transmission, traitement de données et de commandement à distance tel que : Internet des objets " IoT " ; RFID identification par des radio fréquence ; Data Science et Big Data pour le stockage et traitement de données et les grandes quantités de données ; la géolocalisation GPS ; le GSM pour l'envoi et la réception des données sous forme de message utilisant des puces SIM et plus récemment le Blockchain est une technologie de stockage et de transmission d'informations, transparente, sécurisée, et fonctionnant sans organe central de contrôle. En plus, les capteurs de détection et les microcontrôleurs utilisant pour le traitement des données.

**Mots clés :** Traçabilité, internet des objets, chaîne logistique agro-alimentaire, RFID, blockchain.

## ملخص

يعبر تحسين نظام التتبع لسلسلة اللوجستيات الغذائية الزراعية هو الموضوع الأكثر تحديثاً. يعتمد الباحثون في هذا المجال على تقنية الشبكات، والخادم / العميل ما يطلق عليه لتقنيات مختلفة من الجودة والكشف والتجميع ونقل ومعالجة البيانات والأوامر عن بعد مثل: إنترنت الأشياء " إنترنت الأشياء ". تحديد الهوية بواسطة الترددات الراديوية؛ علم البيانات والبيانات الكبيرة لتخزين ومعالجة البيانات وكميات كبيرة من البيانات؛ تحديد الموقع الجغرافي GPS ; GSM لإرسال واستقبال البيانات في شكل رسائل باستخدام رقائق SIM ومؤخراً Blockchain هو تكنولوجيا تخزين ونقل المعلومات، شفافة وأمنة، وتعمل دون وجود هيئة تحكم مركزية. بالإضافة إلى ذلك، جهاز استشعار الكشف والتحكم باستخدام لمعالجة البيانات.

**الكلمات المفتاحية :** التتبع, إنترنت الأشياء, لوجستيات الغذائية الزراعية, RFID, blockchain.

## Abstract

Improving the traceability system of the agro-food logistics chain is the most refreshing subject. researchers in this field are based on network technology server / client what is called it to various technologies of novelty, detection, collection, transmission, data processing and remote command such as: Internet of "IoT" objects ; RFID identification by radio frequency; Data Science and Big Data for storage and processing of data and large amounts of data; GPS geolocation; GSM for sending and receiving data in the form of messages using SIM chips and more recently Blockchain is an information storage and transmission technology, transparent, secure, and operating without a central control body. in addition, the detection sensor and microcontroller using for data processing.

**Key-words :** Traceability, internet of objects, agro-food supply chain, RFID, blockchain.