

# Mise en œuvre de la méthode FAST pour concevoir un système de traçabilité, proposition de critères d'évaluation

MHAMED BENDAOU<sup>1</sup>, CATHERINE LECOMTE<sup>2\*</sup>, BERNARD YANNOU<sup>3</sup>

## <sup>1</sup> Société VIF

1, rue de Bretagne – BP 4408 - 44244 La Chapelle sur Erdre Cedex - France  
mhamed.bendaoud@vif.fr

## <sup>2</sup> PESOR – Faculté Jean Monnet

54, boulevard Desgranges 92331 Sceaux, France

\*AgroParisTech 91744 Massy Cedex, France

catherine.lecomte@agroparistech.fr

## <sup>3</sup> LGI – Ecole Centrale Paris

Grande Voie des Vignes 92290 Chatenay-Malabry, France

bernard.yannou@ecp.fr

---

**Résumé** – Afin de définir une structure pour concevoir, évaluer et gérer des systèmes de traçabilité (ST) en agro-alimentaire, nous avons identifié les services fournis par le ST pour répondre aux besoins des bénéficiaires. Nous en avons déduit un ensemble de fonctions de service décrivant ce qui est attendu d'un ST idéal. Ces fonctions de service ont été ensuite complétées par une série de critères de performance de haut niveau. Dans cette communication, nous nous focalisons sur le fonctionnement attendu du système. A l'aide de la méthode FAST (Functional Analysis System Technique), une bibliothèque de fonctions techniques est proposée pour aider les concepteurs dans le choix des solutions de traçabilité appropriées. Pour chaque fonction technique, nous définissons un ensemble de critères de performance quantifiables. Ces représentations peuvent être utilisées à la fois comme approche de conception et comme outil d'audit des ST. Nous avons appliqué notre modèle à l'industrie de la volaille.

**Abstract** – In order to define a framework so as to design, assess and manage food traceability systems (TS), we start by identifying the services provided by TS to fulfill its beneficiaries' needs. We result in a series of service functions that describe what is expected from an ideal TS. These service functions are then featured by a series of high-level performance criteria. In this paper we focus on how this system is expected to work. Through FAST method (Functional Analysis System Technique), a library of technical functions is proposed to guide designers in choosing appropriate traceability solutions. For each technical function, we define a set of quantifiable performance criteria. This finding may be used either as a design approach or as a tool auditing a traceability system. We practically apply our model to a poultry company.

**Mots clés** – traçabilité, industrie alimentaire, analyse fonctionnelle, conception de système d'information.

**Keywords** – traceability, food industry, functional analysis, information system design.

---

## 1 INTRODUCTION

Les différentes crises qui ont ébranlé le secteur agro-alimentaire ont eu pour conséquence l'adoption d'exigences en sécurité alimentaire : les entreprises doivent désormais mettre en place les moyens de tracer efficacement leurs produits. Un système de traçabilité (ST) peut être défini comme *un système structuré de manière à permettre totalement ou partiellement la reconstitution du cycle de vie d'un ensemble de produits physiques donnés* [Bendaoud et al., 2007a]. En pratique, il fournit aux utilisateurs un ensemble d'informations pertinentes relatives à l'origine, la composition, la localisation et d'autres caractéristiques du produit considéré. Il permet de localiser et retirer du marché des produits non-conformes. Comme des auteurs [Moe, 1998; Töyrylä, 1999; Viruega, 2005] le remarquent, les rares travaux publiés sur la traçabilité agro-alimentaire sont insuffisants pour fournir à cette industrie les outils lui permettant de satisfaire aux exigences élevées en matière de traçabilité. Notre objectif est donc de proposer un ensemble d'outils conceptuels pour concevoir, évaluer et gérer un ST en agro-alimentaire. Cette communication présente une partie de nos résultats (Cf . [Bendaoud, 2008]) : L'analyse fonctionnelle et la définition des fonctions techniques d'un ST.

Elle fait suite à la publication concernant l'identification des bénéficiaires d'un ST, des services attendus et des critères de performance [Bendaoud et al., 2007a].

## 2 DEMARCHE DE RECHERCHE

Après un état de l'art [Bendaoud et al., 2007b et 2008] mettant en évidence le manque de travaux en matière de modélisation des ST en agro-alimentaire et l'analyse et diagnostic du ST de l'entreprise d'application dans l'industrie de transformation de la volaille [Bendaoud, 2008], nous avons débuté notre analyse fonctionnelle du ST en étudiant ses interactions avec les systèmes environnants. Ces dernières ont été exprimées grâce à des fonctions principales et des fonctions d'adaptation précisant les besoins des utilisateurs pour les premières et les réactions aux éléments de l'environnement extérieur au système pour les secondes. Huit éléments environnants ont été identifiés (clients, fournisseurs, consommateurs finaux, pouvoirs publics, bénéficiaires internes à l'entreprise, produits, prescripteurs de normes, législation), cinq d'entre eux (soulignés) sont les bénéficiaires (internes ou externes) des fonctions principales. Nous avons défini 12 fonctions principales caractérisées par un ensemble de critères

d'évaluation [Bendaoud et al., 2007a ; Bendaoud, 2008]. Elles peuvent être résumées l'aide de ce que l'on a appelé la fonction principale générique (FPG) :

*Mettre à la disposition du (bénéficiaire X du ST) les données de traçabilité (amont, interne, aval) des produits.*

Les données amont concernent l'identification de l'origine des matières constitutives entrantes. Les données internes reconstituent l'historique et la localisation pour un produit donné de tout type de process interne à l'entreprise. Les données aval permettent d'identifier les destinations des produits sortis de l'entreprise. Ensuite, il faut définir comment le ST fonctionne en interne afin de réaliser ce qu'on attend de lui. Une revue de la littérature sur ce sujet révèle quelques tentatives incomplètes (Cf. [Steele, 1995; NZTE, 2006; Verdenius, 2006; Regattieri et al., 2007] revue développée dans [Bendaoud et al., 2007b] et non reprise ici). L'objet de cette communication est de définir les fonctions techniques nécessaires.

### 3 DETERMINATION DES FONCTIONS TECHNIQUES D'UN ST

D'après [Prudhomme, 2003], *une fonction technique se réfère à l'action d'un constituant ou à l'action entre des constituants d'un produit (un ST ici) conçu pour fournir les fonctions de service requises.* A partir de la FPG définie, nous avons choisi d'utiliser la méthode FAST (*Functional Analysis System Technique* – développée en 1963 par [Bytheway, 2005]). Elle permet de *visualiser progressivement et de manière explicite les liens de but à moyens entre fonctions* [Yannou, 1998]. Selon cette méthode, la FPG est une fonction d'ordre supérieur. Partant de celle-ci, on se demande «comment» elle est réalisée. La réponse permet de définir une fonction d'ordre inférieur (fonctions de base, dépendante ou indépendante) qui sera elle-même soumise à la même question «comment». Son principe consiste donc à partir d'une fonction (de service ou technique) à parcourir le diagramme vers la droite en se posant la question «comment», ou vers la gauche en se posant la question «pourquoi» (ou «dans quel but») (Cf Figure 1). On peut aussi placer verticalement des fonctions liées par des contraintes causales ou temporelles avec la fonction considérée. Cet axe vertical est parcouru à travers des questions «quand». Nous proposons désormais au lecteur de suivre la logique de construction du diagramme FAST schématisé dans la Figure 1. Les données de traçabilité sont supposées pré-exister sur un support donné (papier, base de données). Donc, la 1<sup>ère</sup> étape consiste en leur restitution, d'où la 1<sup>ère</sup> fonction :

#### **F1 : Restituer les données de traçabilité**

Dans le cas présent, «restituer les données de traçabilité des produits » est la réponse à la question «comment mettre les données de traçabilité des produits à la disposition des bénéficiaires du ST ? ». De même, «mettre les données de traçabilité des produits à la disposition des bénéficiaires du ST» est la réponse à la question «pourquoi restituer les données de traçabilité des produits ?». Dans le cas où le bénéficiaire n'est pas un utilisateur direct du ST, il faut que les données restituées via la fonction F1 lui soient transmises par le biais d'un canal de communication. Généralement les bénéficiaires externes à l'entreprise propriétaire du ST n'ont pas de contact direct avec ce dernier. Donc, pour répondre à leur besoin, traduit par la fonction principale FPG, il ne suffit pas qu'un utilisateur du ST interroge ce dernier afin d'en extraire les données requises, mais il faut aussi faire appel à une fonction pour communiquer ces données aux bénéficiaires en question. Cette fonction est intitulée :

#### **F2 : Communiquer les données de traçabilité**

Comme elle n'est destinée qu'aux bénéficiaires sans contact direct avec le ST, la fonction F2 n'est qu'optionnelle. A ce titre, nous allons la rattacher à la fonction principale FPG via une liaison en pointillés. Elle aura également un lien chronologique, symbolisé par une flèche, avec la fonction F1.

Cette portion du diagramme FAST se lit comme suit: la mise à la disposition des bénéficiaires du ST des données de traçabilité des produits peut se faire de deux manières : soit en les leur communiquant après les avoir préalablement restituées, ce qui suppose que les bénéficiaires en question ne sont pas des utilisateurs directs du ST ; soit par simple consultation directe du ST dans le cas où le bénéficiaire concerné en a la possibilité. Ce qui est le cas généralement de ce que nous avons qualifié de bénéficiaires internes au cours de l'analyse fonctionnelle du besoin. Ceci étant, poursuivant notre raisonnement, la restitution des données de traçabilité suppose que celles-ci aient été enregistrées ou mémorisées auparavant. Nous identifions ainsi une autre fonction de base intitulée :

#### **F3 : Mémoriser les données de traçabilité des produits**

Sur le diagramme, cette fonction n'est pas directement rattachée à la fonction d'ordre supérieur FPG dans la mesure où elle ne constitue pas une réponse directe à la question sous-jacente à cette dernière fonction. En revanche, F3 est une condition préalable nécessaire pour que la fonction F1 ait un sens. Elle y sera donc rattachée via une jointure verticale. A la question, «comment restituer les données de traçabilité des produits ?», on peut trouver deux types de réponses. Soit des réponses sous forme d'expressions redondantes du genre «répondre à la requête de l'utilisateur», ou des réponses renvoyant à des solutions techniques comme «à travers une interface informatique». Par conséquent, nous arrêtons l'analyse de cette fonction à ce niveau. En revanche, la fonction F3 peut être analysée davantage. En effet, pour mémoriser les données de traçabilité, il faut les avoir préalablement enregistrées soit directement sur le produit tracé ou sur un autre support dissocié du produit (papier, informatique, magnétique, etc. On a alors deux fonctions dépendantes (au sens de FAST) de la fonction F3, à savoir :

#### **F4 : Rattacher les données de traçabilité au produit**

#### **F5 : Enregistrer les données de traçabilité sur des supports externes**

Certaines données peuvent être rattachées directement au produit et d'autres peuvent être enregistrées ailleurs. La mémorisation des données de traçabilité, à travers les fonctions F4 et F5, suppose que ces données existent c'est-à-dire qu'il faut d'abord les obtenir à partir d'une source donnée. D'où :

#### **F6 : Acquérir les données de traçabilité.**

Cette fonction constitue une condition nécessaire à la réalisation des fonctions F4 et F5. En revanche, elle n'est pas un moyen pour réaliser ces fonctions. Autrement dit, elle ne répond pas directement aux questions «comment» sous-jacentes aux fonctions F4 et F5. Donc, il ne s'agit pas d'une fonction dépendante au sens de FAST. La fonction F6 ne peut pas non plus être rattachée directement à la fonction principale FPG car les données acquises ne sont pas immédiatement mises à la disposition des bénéficiaires du ST. Elles doivent auparavant traverser d'autres étapes correspondant aux fonctions F4 et/ou F5 et F1 et/ou F2. Chronologiquement F6 intervient juste avant F4 et F5 auxquelles elle est rattachée par une jointure verticale. Pour acquérir les données de traçabilité, il faut soit les collecter quand elles sont déjà existantes quelque part, soit les générer dans le cas inverse. A titre d'exemple, quand on réceptionne une matière première, les données de traçabilité correspondantes peuvent être collectées à partir des

bons de livraison des fournisseurs. En revanche, quand il s'agit d'un produit fini venant d'être conditionné, il faut d'abord le peser pour pouvoir générer la donnée de traçabilité «*poids du produit*». Nous identifions donc les deux fonctions suivantes :

#### **F7 : Collecter les données de traçabilité des produits**

#### **F8 : Générer les données de traçabilité des produits**

Sur la Figure 1, ces deux fonctions sont donc directement rattachées à la fonction F6 dont elles constituent les moyens. Le «OU» reliant la fonction F6 avec les fonctions F7 et F8 n'est pas exclusif : pour un produit, certaines données peuvent être collectées et d'autres générées au niveau du processus de production. Une analyse plus poussée des fonctions F7 et F8 via les questions «*comment*» renvoie à des réponses en dehors du cadre fonctionnel : pour collecter les numéros de lot des matières premières, on scanne leurs étiquettes code-barres, pour générer les «*poids des produits fabriqués*», on effectue des pesées. Nous arrêtons donc l'analyse à ce niveau. Par ailleurs, le terme «*produits*» nécessite davantage de précision. Dans un processus de production alimentaire, on peut distinguer sept catégories de produits: matières premières, ingrédients, matériaux de conditionnement, produits en cours de fabrication, produits finis, sous-produits et coproduits. Dans chacune, on peut trouver plusieurs références. Au sein d'une même référence, il est possible de distinguer plusieurs lots. En termes de traçabilité, cette notion est cruciale. Selon l'article R112-5 du code de la consommation (France), un lot est défini comme étant *un ensemble d'unités (de vente) d'une denrée alimentaire qui a été produite, fabriquée ou conditionnée dans des circonstances identiques*. Un ST doit donc absolument être en mesure de distinguer les différents lots d'un même produit d'où :

#### **F9 : Identifier les lots de produits**

Les fonctions d'acquisition des données de traçabilité F7 et F8 présupposent la connaissance de l'entité physique (lot) exacte concernée par les données acquises. Du point de vue de la traçabilité, ces données n'ont d'intérêt que si elles sont collectées ou générées par rapport à un lot de produits bien défini. Donc, la fonction F9 constitue un pré-requis pour les fonctions F7 et F8. Ce qui explique son positionnement au niveau du diagramme FAST. Dans la pratique, l'identification d'un lot de produit consiste à lui affecter un identifiant unique permettant de le distinguer de ses semblables. Selon l'AFNOR, une identification est une *correspondance unique entre une référence ou un identifiant et un lot, une unité de produit, un acteur, une activité ou un lieu* [AFNOR, 2004]. Pour ce faire, il faut d'abord créer l'identifiant ET ensuite l'associer au lot en question. D'où les deux fonctions supplémentaires suivantes :

#### **F10 : Créer les identifiants des lots de produits**

#### **F11 : Associer les identifiants aux lots de produits**

Le numéro de lot est l'identifiant le plus utilisé dans la littérature. C'est un code alphabétique, numérique ou alphanumérique pouvant être généré d'une façon automatique ou manuelle. Un identifiant peut aussi être composé d'une donnée signifiante comme la date de fabrication du lot. La fonction F11 peut être réalisée de différentes manières : - marquer directement l'identifiant sur le produit (ex. tatouage des animaux, jet d'encre sur les boîtes) - apposer sur le produit des étiquettes code-barres portant l'identifiant du lot auquel il appartient - associer au contenant du produit des tags RFID comportant, entre autre, son identifiant. Donc, à la question «*Comment associer un identifiant à un lot de produits ?*», on peut répondre: soit par marquage direct (jet d'encre sur le produit) ou par marquage indirect (utilisation de code-barres). A partir là, nous identifions deux autres fonctions :

#### **F12 : Marquer l'identifiant directement sur le produit**

#### **F13 : Marquer l'identifiant indirectement sur le produit**

A noter qu'on n'a pas employé le terme «lot» dans l'expression des fonctions F12 et F13. On aurait pu écrire *marquer l'identifiant directement/indirectement sur le lot de produit*. Ce choix s'explique par le fait que le lot est une notion plutôt abstraite et ce à quoi on peut associer physiquement l'identifiant sont les unités composantes du lot en question. Notons qu'il se peut qu'il n'existe pas de lien physique entre le produit et son identifiant. C'est le cas des produits élaborés dans un processus continu (ex. lait en pasteurisation). L'absence de lien physique n'est que provisoire en raison du traitement en cours du produit. Cependant, l'identifiant doit forcément être renseigné quelque part (sur une plaquette accrochée sur la ligne de fabrication, sur des documents papier ou dans une application informatique). Ce qui rejoint la fonction F13. F12 n'exclut pas F13, et vice-versa. En effet, pour prévenir des risques de perte de lien entre un produit et son identifiant, on peut rencontrer une certaine redondance au niveau de son marquage. A titre d'exemple, le numéro de lot inscrit par jet d'encre sur des boîtes de conserve (lien direct) peut être marqué une deuxième fois sur l'unité commerciale (carton) contenant ses boîtes (lien indirect). Toutes les solutions techniques permettant de réaliser F13 peuvent être regroupées sous le terme générique de *support d'identification*. Parmi les supports les plus rencontrés, on peut citer les codes-barres, les puces RFID, des étiquettes pré-imprimées ou des *post-it*. On peut donc enrichir notre diagramme FAST par :

#### **F14 : Utiliser des supports d'identification**

En plus de l'identification du produit, la plupart des supports que l'on peut rencontrer servent également à lui rattacher un certain nombre de données de traçabilité. C'est-à-dire qu'ils servent à la fois de moyens pour F13 et aussi pour F4. Comme nous l'aborderons plus loin, le marquage direct sur le produit a généralement une capacité très limitée, ce qui n'en fait pas un vrai moyen de mémorisation de données. C'est pour cela que nous avons choisi de relier la fonction F4 uniquement à la fonction F14.

Avec les 14 fonctions que nous venons de mettre en évidence, nous avons dressé un panorama des fonctions techniques typiques qu'un ST doit être capable de remplir afin de pouvoir répondre aux besoins de ses bénéficiaires. Avant d'agencer les différents morceaux de notre diagramme FAST, il est essentiel de tenir compte d'une 15<sup>ème</sup> fonction qui, certes, existe indépendamment du ST, mais qui est nécessaire pour que les six dernières fonctions aient un sens :

#### **F15 : Créer les lots de produits**

Dans la terminologie FAST, cette fonction peut être considérée comme une fonction de support en ce sens qu'elle ne se situe sur le chemin critique d'aucune autre fonction. Dans la pratique, la création d'un lot (ou l'ouverture d'un lot selon Dupuy [Dupuy, 2004]) correspond au moment où un groupe homogène de produits ayant une existence physique est considérée comme une entité unique. La fonction F15 intervient d'une manière générale à l'issue d'une opération d'assemblage ou de désassemblage de produits. Chronologiquement, elle a forcément lieu en amont de la fonction F11. En revanche, elle peut avoir lieu aussi bien avant ou après la fonction F10. En effet, il est tout à fait possible de créer l'identifiant d'un lot de produit avant même que ce dernier ne soit fabriqué. On peut, par exemple, imaginer le cas où le service d'ordonnancement d'une usine définit à l'avance les numéros de lots à affecter aux produits qui seront fabriqués.

Partant des besoins des bénéficiaires du ST, exprimés sous forme de fonctions de service, nous nous sommes appuyés sur la méthode FAST afin d'identifier les fonctions devant être

réalisées en interne afin de satisfaire ses bénéficiaires. Le diagramme FAST présente un panorama de ces fonctions ainsi que leur enchaînement du niveau le plus fonctionnel (gauche) au niveau le plus technique (droite) (cf Figure 1). L'objectif de cette démarche est de proposer des principes de solutions qui peuvent être instanciés lors de projets de conception et de mise en place de ST. Sur le terrain, cette instanciation se traduit par le choix de solutions techniques pour chacune des neuf fonctions se situant « aux extrémités » du diagramme. C'est-à-dire celles qui ne sont pas rattachées par des liens « comment » à d'autres fonctions. Dans la suite de ce document, nous parlerons de fonctions techniques (FT) pour ces fonctions là. Bien évidemment, dans un contexte industriel donné, toutes les fonctions techniques issues d'une branche « OU » ne seront pas forcément retenues. Par exemple, pour associer des identifiants à ces produits (F11), un éleveur de bovins pourra opter pour la fonction F13 en marquant les identifiants de ses animaux sur des boucles d'oreille ou pour la fonction F12 en les identifiant par tatouage.

**Tableau 1. Liste des 9 fonctions techniques du ST.**

Ordre	Code de la fonction	Libellé de la fonction
1	FT1	Créer les lots de produits
1	FT2	Créer les identifiants des lots de produits
2	FT3	Marquer l'identifiant directement sur le produit
2	FT4	Utiliser des supports d'identification
3	FT5	Collecter les données de traçabilité des produits
3	FT6	Générer les données de traçabilité des produits
4	FT7	Enregistrer les données de traçabilité sur un support externe au produit
5	FT8	Restituer les données de traçabilité des produits
6	FT9	Communiquer les données de traçabilité des produits

Les autres fonctions du milieu du diagramme FAST n'apparaissent pas dans ce tableau car elles sont considérées comme des finalités que l'on peut atteindre en réalisant les fonctions « comment » sous jacentes. Chacune des FT va être décrite davantage et caractérisée à travers un ensemble de critères d'appréciation que nous allons définir par la suite.

#### 4 PROPOSITION DE CRITERES TECHNIQUES D'EVALUATION DES PERFORMANCES DES SYSTEMES DE TRAÇABILITE

Dans cette section nous proposons 20 critères de performance qui peuvent être utilisés pour caractériser et évaluer les neuf FT, car seules ces fonctions sont pertinentes à être évaluées (voir Tableau 2). Dans [Bendaoud, 2008], nous avons donné une description détaillée de chaque critère à l'aide d'une procédure de quantification et un protocole de mesure. Nous ne pouvons les détailler ici pour des questions de place mais nous en avons fourni une définition précise dans le tableau 2 en nous appuyant sur la littérature. Nous illustrons leur utilisation dans la partie suivante. Ces critères peuvent servir à la fois pour évaluer la performance d'un système existant ou pour choisir les solutions appropriées pour un futur ST.

#### 5 APPLICATION DANS LA TRANSFORMATION DE VOLAILLES

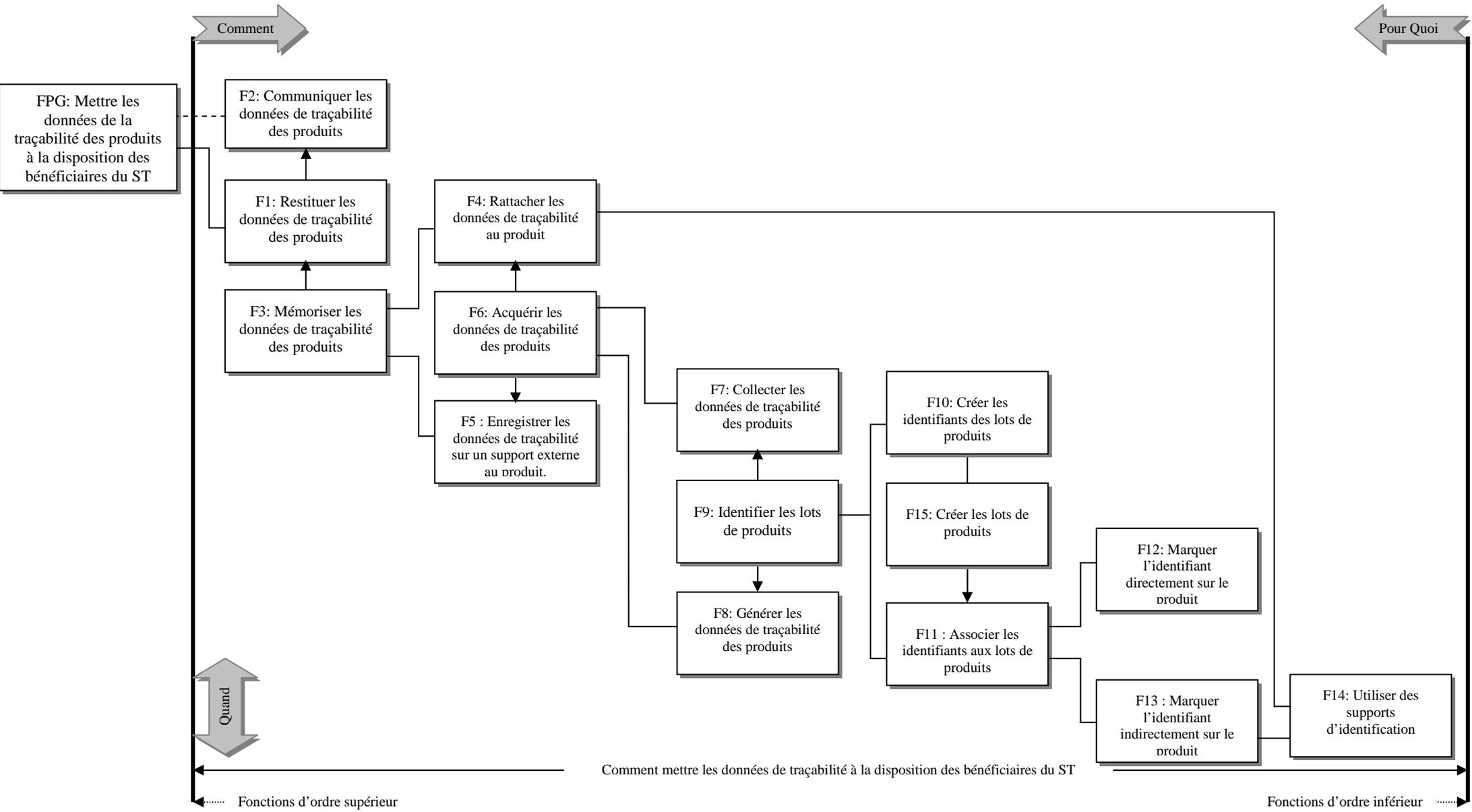
Le cas d'étude proposé est une entreprise de transformation de volailles (développé dans [Bendaoud, 2008]). Pour décrire son système de traçabilité, pour lequel notre diagramme FAST s'applique, nous allons nous focaliser sur un produit : les manchons d'ailes de poulets rôtis. La transformation débute par la marinade des manchons dans une sauce (eau, sel, paprika et autres ingrédients). Ensuite, les ailes marinées sont

rôties par lot dans un four. L'ensemble des produits sortant d'une même cuisson constitue un lot donné qui est ainsi créé (Cf. fonction FT1). La quantité de produits appartenant à un même lot constitue la taille de ce lot (256 Kg en moyenne). Connaissant l'unité commerciale utilisée par l'entreprise (le carton) pesant environ 4Kg, on obtient une taille de lot de 64 (Cf. CT1). Cela signifie qu'en cas de non-conformité, l'entreprise devra rappeler 64 cartons même si la totalité du lot n'est pas complètement non conforme. Ainsi pour identifier un lot de façon unique (Cf. FT2), le ST de l'entreprise génère automatiquement le numéro de lot, par exemple 904422048886. Il comprend 12 caractères (Cf. CT4) et peut être considéré comme significatif (Cf. CT2). Les premiers caractères se réfèrent à l'année de production (9: 2009), les 4 suivants (0442) identifient l'atelier où le lot a été produit. Le reste est constitué d'un nombre séquentiel. Cet identifiant est unique pour toujours (Cf. CT3). Afin d'associer physiquement un numéro de lot aux produits, l'entreprise utilise des codes-barres comme support d'identification (Cf. FT4). Selon les cadres de l'entreprise, ils sont suffisamment robustes (Cf. CT6) et l'indélébilité du marquage est satisfaisante (Cf. CT5). Cependant, l'humidité, combinée à la ventilation des chambres froides peut altérer le lien entre les produits et leur support d'identification (Cf. CT7). La capacité des codes-barres (Cf. CT8) est suffisante pour y inclure d'autres données comme la date de production et l'identité de l'opérateur. Au regard des bénéfices de ces supports d'identification, l'entreprise ne considère pas son coût (quelques centimes d'euros) comme un problème (Cf. CT9). En plus d'utiliser un identifiant unique, la traçabilité du lot est assurée grâce à l'acquisition de nombreuses données pendant son cycle de vie : les identifiants des ingrédients (Cf. FT5) sont collectés automatiquement en scannant leur code-barres. L'information concernant les quantités et la température de cuisson est générée (Cf. FT6) en utilisant des balances et des thermomètres. La vitesse d'acquisition des données (Cf. CT10) est estimée en comparant la durée moyenne du process au temps moyen que dure l'acquisition des données de traçabilité. Ce dernier est estimé à 9% du temps de process dans notre cas d'étude. L'intervention des utilisateurs est limitée car la majorité des données sont collectées automatiquement (scan de codes-barres). Cette façon de procéder améliore la fiabilité d'acquisition des données (Cf. CT11). En cohérence avec la réglementation, les standards et les exigences des consommateurs, nous avons listé un ensemble de données de traçabilité qui doivent être gérées par l'entreprise. Sa comparaison avec l'ensemble des données actuellement collectées révèle une bonne complétude des données acquises (Cf. CT12). Le coût total d'acquisition d'un élément de donnée s'élève à environ 0.036 € (Cf. CT 13). Chaque soir, les données collectées dans les ateliers sont envoyées dans une base de données Oracle où elles sont enregistrées (Cf. FT7) pour une période de cinq ans, période satisfaisante par rapport à la réglementation (Cf. CT14). Grâce à des sauvegardes quotidiennes et des droits d'accès stricts, la sécurité des données est assurée (Cf. CT15). Afin de restituer les données (Cf. FT8), l'entreprise utilise un logiciel qui permet aux utilisateurs d'interroger la base de données au travers de critères variés (Cf. [Bendaoud, 2008]). Dans [Bendaoud and al., 2007], nous donnons une évaluation détaillée des critères associés à FT8. En terme d'exhaustivité, (Cf. CT16), nous expliquons que le volume de données fournies va au-delà des exigences de la réglementation. Entre leur acquisition (Cf. FT5 & FT6) et leur consultation, les données sont simplement mémorisées dans une base de données sans aucune altération et demeurent authentiques (Cf.

Fonctions Techniques	Critères de performances	Définitions / Commentaires
FT1 : Créer les lots de produits	CT1 : Rapport de taille de lot	Plusieurs auteurs (Cf. [Golan et al., 2004; Lecomte et al., 2006; Resende-Filho et Buhr, 2007]) ont établi que la précision de la traçabilité est inversement proportionnelle aux tailles de lot. Le rapport de taille de lot est obtenu en divisant la taille moyenne des unités commerciales par la taille moyenne d'un lot de production. Plus ce rapport est grand, meilleure est la précision de la traçabilité
FT2 : Créer les identifiants des lots de produits	CT2 : Signifiante des identifiants des lots	Un identifiant est signifiant (d'après [Green and Bide, 1997]), s'il correspond à une ou plusieurs données portant un sens. Avec des identifiants signifiants, des informations sont obtenues directement sans interroger le système d'information.
	CT3 : Durée d'unicité des identifiants de lots	La période durant laquelle un identifiant donné ne peut pas être utilisé pour identifier plus d'un lot (Cf. [Dupuy, 2004]).
	CT4 : Taille des identifiants des lots	La taille d'un identifiant de lot correspond au nombre de caractères dont il est composé. Ce critère peut avoir certaines incidences comme sur la taille du support d'identification.
FT3: Marquer l'identifiant sur le produit	CT5 : Indélébilité du marquage	L'identifiant marqué sur le produit doit être suffisamment indélébile pour résister aux conditions de traitement et de manipulation des produits. Cette aptitude dépend principalement de la technologie employée (laser, jet d'encre). Pour estimer ce critère, nous suggérons de diviser la durée de vie du marquage apposé par la durée de vie du produit marqué.
FT4: Utiliser des supports d'identification	CT6 : Robustesse du support d'identification	La robustesse d'un support d'identification correspond à son aptitude à résister aux conditions ambiantes auxquelles il est soumis dans le cadre d'une utilisation normale. Ce critère peut être évalué grâce au pourcentage des supports présentant une résistance satisfaisante aux conditions environnantes.
	CT7 : Fiabilité du lien entre le support et le produit	Avoir un support d'identification très robuste ne peut pas suffire pour garantir une identification efficace des produits. Il est aussi crucial que ce support reste relié au produit pour assurer une identification permanente. Ce critère peut être estimé en divisant la durée minimale pendant laquelle le support est lié au produit par la durée de vie du produit.
	CT5 : Indélébilité du marquage	Le critère CT5, décrit ci-dessus s'applique aussi aux identifiants qui sont marqués sur les supports d'identification. Dans le cas de supports électroniques (étiquettes RFID), l'indélébilité du marquage correspond à la capacité à lire le contenu enregistré à l'intérieur.
	CT8 : Capacité du support d'identification	La quantité de données qui peuvent être enregistrées sur un support d'identification. Par exemple, la capacité d'un code-barre linéaire est comprise entre 1 et 40 caractères. Avec une capacité de plusieurs Ko, les étiquettes RFID peuvent être utilisées non seulement dans un but d'identification mais aussi de support d'autres données de traçabilité (Cf. [Tellkamp, 2006]).
	CT9 : Coût unitaire du support d'identification	Le coût du support d'identification est un paramètre important à prendre en compte dans un projet de traçabilité. Par exemple, à cause de leur coût (USD \$0.3-0.5), les étiquettes RFID sont plus adaptées pour l'identification de produits à haute valeur ajoutée.
FT5 : Collecter les données de traçabilité des produits &	CT10 : Rapidité d'acquisition des données	Ce critère de performance est inversement proportionnel au temps nécessaire pour acquérir les données de traçabilité requises. En pratique, l'acquisition de données se produit à chaque fois que le produit subit une opération donnée (transformation, conditionnement).
	CT11 : Fiabilité d'acquisition des données	Ce critère se rapporte à la capacité du système à collecter des données sans erreur dans le sens de Pipino [Pipino et al., 2002]. Elles doivent être correctes et refléter la réalité. Selon [Sharp, 1990; Wray, 2007], les données enregistrées manuellement produisent une erreur tous les 300 mots. La valeur de CT11 peut être obtenue en estimant statistiquement le pourcentage de données considérées correctes.

FT6 : Générer les données de traçabilité des produits	CT12 : Complétude des données acquises	<p>Selon Wang et Strong [Wang and Strong, 1996], la complétude des données est un critère contextuel dans le sens où il est strictement relié au contexte dans lequel les données sont utilisées. En termes mathématiques, si les données nécessaires sont représentées par un ensemble A et les données recueillies représentées par un ensemble B, CT12 est exprimé comme suit : <math>CT12 = \frac{card(A \cap B)}{card(A)}</math> (%)</p>
	CT13 : Coût d'acquisition des données	<p>En fonction de la quantité de données recueillies, la fréquence de leur acquisition et les outils utilisés, le coût induit peut être élevé. Ce coût est lié aux moyens utilisés dans les processus d'acquisition des données, particulièrement les coût de personnel, d'équipement et de consommables (encre, papier, énergie, etc.).</p>
FT7 : Enregistrer les données de traçab. sur un support externe au produit	CT14 : Pérennité des données	<p>Ce critère de performance se rapporte à la durée pendant laquelle les données de traçabilité restent accessibles. Cette durée peut être définie en tenant compte de la durée de vie du produit considéré.</p>
	CT15 : Sécurité des données	<p>Les données de traçabilité peuvent être soumises à différentes menaces. Dans la littérature, la sécurité de l'information est généralement définie en termes de confidentialité, intégrité et disponibilité (Cf. [Yialelis, 1996; Hoagland et al., 1998; Chew et al., 2008]).</p>
FT8 : Restituer les données de traçabilité  (Dans [Bendaoud, 2007], nous avons décrit en détail comment quantifier les critères liés à cette fonction)	CT16 : Exhaustivité des données	<p>La capacité du système de traçabilité à fournir à ses bénéficiaires toutes les données demandées.</p>
	CT17 : Authenticité des données	<p>La capacité du système de traçabilité à restituer les données de traçabilité des produits fidèlement (i.e. sans erreur).</p>
	CT18 : Rapidité de la traçabilité	<p>Ce critère d'évaluation est inversement proportionnel au temps nécessaire pour répondre à une requête donnée au sujet de la traçabilité produit.</p>
	CT19 : Précision de la traçabilité	<p>Ce critère est fréquemment cité dans la littérature (Cf. [Golan et al., 2004; Lecomte et al., 2006; Resende-Filho et Buhr, 2007]). Il peut être défini comme la capacité du système de traçabilité à identifier parmi plusieurs possibilités, la réponse exacte à une demande donnée.</p>
FT9 : Communiquer les données de traçabilité	CT20 : Qualité de transmission des données de traçabilité	<p>Selon la théorie de la communication, la qualité d'un message échangé entre une source d'information et un destinataire est conditionnée par le bruit auquel il est soumis. Dans [Chitode, 2008], le bruit est défini comme tout signal indésirable qui tente d'interférer avec le signal requis. CT20 peut être calculé comme le ratio entre le nombre de transmissions réussies divisé par le nombre total de transmissions effectuées pendant la période considérée.</p>
	CT21 : Rapidité de transmission des données	<p>Ce critère est inversement proportionnel au temps nécessaire à la transmission du message entre la source et la destination. Il dépend, principalement du canal de communication utilisé (fax, courriel, téléphone ...).</p>

Tableau 2. Critères de performance d'un système de traçabilité



**Figure 1. Diagramme FAST du système de traçabilité**

CT17). En général quelques secondes suffisent pour répondre à une requête donnée (Cf. CT18). La précision des données (Cf. CT19) est satisfaisante : l'entreprise est capable de cibler un unique lot incriminé. Les données sont souvent utilisées dans l'entreprise. Cependant, des acteurs externes (clients, institutions publiques) peuvent demander certaines informations relatives à l'origine et/ou aux caractéristiques d'un lot. Les données demandées sont généralement envoyées (Cf. FT9) par le responsable qualité par mail ou fax de façon à permettre leur transmission rapide (Cf. CT20). Dans environ 30% des cas, nous avons observé que les destinataires n'étaient pas satisfaits du format des données reçues (Cf. CT19).

## 6 CONCLUSION

Dans cette communication, nous avons présenté des résultats de nos travaux de recherche dans lequel nous proposons des outils nouveaux pour concevoir et évaluer des ST. En utilisant la méthode FAST, nous avons proposé un modèle inédit du comportement interne d'un ST se référant à des fonctions assurées par le système de façon à satisfaire les besoins des bénéficiaires. Ce modèle constitue une structure pour concevoir un ST en agroalimentaire. En nous appuyant sur la littérature, nous avons également défini un ensemble de critères quantifiables qui peuvent être utilisés pour choisir entre plusieurs solutions possibles pour une fonction donnée ou pour évaluer les performances d'un ST. Nous avons illustré nos propos par un cas d'étude agroalimentaire. Le modèle proposé est aussi applicable dans d'autres secteurs (pharmacie, cosmétique, etc.). La dernière partie de nos travaux concerne la construction d'un modèle de données générique s'appuyant sur la modélisation FAST et d'une plateforme informatisée opérationnelle de traçabilité pour une entreprise de transformation de volailles. Ils feront l'objet d'une communication ultérieure.

## 7 REFERENCES

AFNOR (2004) Management de la valeur et ses outils : analyse fonctionnelle, analyse de la valeur, conception à objectif fixé, AFNOR, Paris.

Bendaoud M., Lecomte C., Yannou B. (2007a) Traceability systems in the agri-food sector: A functional analysis. 16th International Conference on Engineering Design, Paris, 28-31 August 2007.

Bendaoud M., Lecomte C., Yannou B., (2007b) Modélisation des systèmes de traçabilité de produits alimentaires : une analyse de l'état de l'art, *Actes du 7<sup>ème</sup> Congrès International de Génie Industriel*, Trois-Rivières, Québec, Canada, 5-8 juin 2007, 10 pages.

Bendaoud M. (2008) Contributions méthodologiques et conceptuelles à la conception, la gestion et l'amélioration des systèmes de traçabilité des produits alimentaires : application à l'industrie d'abattage et transformation de la volaille. École Centrale Paris. Laboratoire Génie Industriel. PhD thesis. 12 juin 2008. Châtenay-Malabry.

Bytheway C. W. (2005) Genesis of FAST. *Value World* 28.

Chew E., Swanson M., Stine K., Bartol N., Brown A., Robinson W. (2008) Information Security - Performance Measurement Guide for Information Security, National Institute of Standards and Technology, US Department of Commerce.

Chitode J.C. (2008). Communication Theory - Third Revised Edition - 2008. India, Technical Publications Pune.

Dupuy C. (2004) Analyse et conception d'outils pour la traçabilité de produits agroalimentaires afin d'optimiser la dispersion des lots. Institut National des Sciences Appliquées de Lyon. Informatique et Information pour la Société (EDIIS) - Spécialité Productique. PhD Thesis. Grade de Docteur. Alain Guinet. 28 septembre 2004. Lyon.

Golan E., Krissoff B., Kuchler F., Linda C., Nelson K., Price G. (2004) Traceability in the U.S. Food Supply: Economic Theory and

Industry Studies. United States Department of Agriculture. <http://www.ers.usda.gov/publications/aer830/aer830.pdf> - Accès le 13 février 2010.

Green B., Bide M. (1997) Unique Identifiers: A Brief Introduction. London, Book Industry Communication.

Hoagland J.A., Pandey R. Levitt K.N. (1998) Security Policy Specification Using a Graphical Approach. Department of Computer Science - University of California, Davis. Available from World Wide Web: <http://www.cs.ucdavis.edu/research/tech-reports/1998/CSE-98-3.pdf> - Accès le 13 février 2010.

Lecomte C., Ta C-D, Vergote MH. (2006) Analyse et améliorer la traçabilité dans les industries alimentaires, Paris, AFNOR. 214 pages.

Moe T. (1998) Perspectives on traceability in food manufacture." *Trends in Food Science & Technology* 9(5): 211-214.

NZTE (2006) Traceability: A platform for product knowledge and value. A report for New Zealand Trade and Enterprise. <http://www.nzte.govt.nz/common/files/traceability-report.pdf> - Accès le 13 février 2010.

Pipino L.L., Lee Yang W., Wang R.Y. (2002) Data Quality Assessment. *Communications of the ACM* 45(4ve): 211-218.

Prudhomme G, Zwolinski P., Brissaud D (2003) Integrating into the design process the needs of those involved in the product life-cycle. *Journal of Engineering Design* 14(3): 333 - 353.

Regattieri A., Gamberi M., Manzini R. (2007) Traceability of food products: General framework and experimental evidence. *Journal of Food Engineering* 81(2): 347-356.

Resende-Filho M., Buhr B. (2007) Economics of traceability for mitigation of food recall costs. Munich Personal RePEc Archive. Munich - Germany Available from World Wide Web: [http://mpra.ub.uni-muenchen.de/3650/1/MPRA\\_paper\\_3650.pdf](http://mpra.ub.uni-muenchen.de/3650/1/MPRA_paper_3650.pdf) - Accès le 13 février 2010.

Sharp K.R. (1990) Automatic Identification: Making It Pay. New York, Van Nostrand Reinhold Computer. 276.

Steele D. (1995) Structure for lot-tracing design. *Production and Inventory Management Journal*, 36(1): 53.

Tellkamp C. (2006) The impact of Auto-ID technology on process performance – RFID in the FMCG supply chain. University of St. Gallen. Doctor of Business Administration. Doctor of Business Administration. Elgar Fleischand Thomas Rudolph. January 17, 2006. St. Gallen – Switzerland

Töyrylä I. (1999) Realising the Potential of Traceability - A case study research on usage and impacts of product traceability. University of Technology (Espoo, Finland). Department of Industrial Management. PhD. 26 Mars 1999. Espoo.

Verdenius F. (2006) Using traceability systems to optimise business performance. In. I. Smithand A. Furness. Improving traceability in food processing and distribution. Cambridge, England, Woodhead Publishing Limited: 26-51.

Viruega J-L (2005) Traçabilité : outils, methods et pratique. Paris, Editions d'organisation. 237.

Wang R.Y., Strong D. (1996) Beyond Accuracy: What Data Quality Means to Data Consumers. *Journal of Management Information Systems* 12(4): 5-34.

Wray B. (2007) ISBT 128 An Introduction to Bar Coding Version 2 0 1. St. Paul, MN, USA, Computype, Inc.

Yialelis N. (1996) Domain-Based Security for Distributed Object Systems. Imperial College London. PhD. October 1996. London

## Remerciements

Les travaux présentés ici ont fait l'objet d'une thèse CIFRE cofinancée par l'entreprise ARRIVE (LDC) de transformation de volailles. Ils ont permis la mise en place d'un nouvel outil de traçabilité dans cette entreprise.