

# Logistique totalement intégrée lors de la conception d'équipements pour les pays en développement

**Yaovi Ouézou AZOUMA**

Université de Lomé, École Supérieure d'Agronomie  
azouma@yahoo.com

**Diane RIOPEL**

École Polytechnique de Montréal, Département de mathématiques et de génie industriel, CIRRELT

*La fabrication d'équipements à petite échelle en Afrique éprouve d'énormes difficultés d'approvisionnement en matière d'œuvre. Le Soutien Logistique Intégré, facilite l'exploitation, la maintenance et améliore la durée de service de l'équipement. Ce concept ne prévoit pas le retour des produits en fin d'usage, l'organisation de l'approvisionnement en matériaux de récupération et la protection de l'environnement. À partir d'une analyse croisée des méthodes utilisées dans les pays industrialisés et des pratiques dans les pays d'Afrique une démarche logistique combinant le Soutien Logistique Intégré et la Logistique Inverse : Logistique Totalement Intégrée, peut générer des économies et réduire le coût de possession.*

## Introduction

La majorité des pays en développement (PED) est caractérisée par un faible revenu national et de ce fait, dispose de peu d'épargne à investir (Fremy, 2006). Malgré la nécessité d'une plus grande productivité agricole pour nourrir une population au taux d'accroissement élevé et l'intérêt du producteur pour la plus value qu'offre la transformation des produits agricoles, cette situation contraint les petites et moyennes industries (PMI), particulièrement les équipementiers d'Afrique, à la fabrication à petite échelle des équipements agricoles et agroalimentaires (EAA). Face donc à la faiblesse de la capacité d'investissement des producteurs africains, la survie de ces PMI réside dans la réduction autant que possible du coût global de l'équipement qui influence le coût de possession de l'utilisateur. Pour ce faire, l'une des solutions à ce problème consiste à minimiser le coût de revient des matériaux et matières d'œuvre.

Pour y parvenir, nous préconisons l'adoption à la fois du Soutien logistique intégré (SLI) et de la Logistique inverse (LI) que nous appelons Logistique totalement intégrée (LTI) dès la conception de l'équipement.

Après avoir précisé l'environnement socio-technique et économique africain puis démontré la pertinence du concept de la LTI par rapport à la conception d'équipements pour ce contexte, nous discutons des résultats d'enquêtes auprès des équipementiers et des utilisateurs d'équipements et traitons des questions relatives au marché de la LI et aux aspects législatifs, moteurs de la protection de l'environnement. Enfin, nous présentons une démarche LTI dans la conception d'EAA pour l'Afrique.

## Démarche méthodologique

Dans le cadre de l'enrichissement des démarches de conception d'équipements pour les

*Les auteurs remercient les évaluateurs pour leur travail et leurs commentaires très constructifs. Ces travaux ont été réalisés grâce au soutien financier obtenu de l'UNESCO dans le cadre de l'Appui des domaines de programme prioritaires (2006-2007) et du CRSNG du Canada.*

pays en développement, une étude bibliographique sur les méthodes et pratiques de fabrication et de maintenance dans les pays du Nord et du Sud (PdS) et une collecte d'informations auprès de 12 équipementiers de 3 pays d'Afrique de l'Ouest respectivement 6 au Bénin, 2 au Burkina Faso et 4 au Togo ont été réalisées de 2001 à 2004. Au cours de cette même période, une enquête a été faite auprès de 28 utilisateurs possédant en tout 71 équipements constituant 21 types de machines, dont 7 agricoles et 14 agroalimentaires. Parallèlement, la validation au Togo de plusieurs résultats issus de ces études a eu lieu au cours de la conception participative d'une charrette épandeuse de fumures organiques, en ingénierie concurrente (Azouma et al., 2007). Ces travaux qui ont permis de proposer plusieurs méthodes et outils d'intégration de la fabrication et de la maintenance dans une démarche de conception pluridisciplinaire pour l'Afrique (Azouma, 2005) sont croisés avec une étude bibliographique sur la LI (Gupta et Isaacs, 1997 ; Rogers et Tibben-Lembke, 1998 ; Guide et Jayaraman, 2000 ; Fleischman, 2001 ; Lambert et Riopel, 2005 ; Yang et Wang, 2007 ; Feng et Zhijun, 2008 ; Srivas-

tava, 2008). Aussi, en 2008, la recherche sur le terrain a permis de collecter des informations sur les pratiques de LI en Afrique de l'Ouest. Cette approche méthodologique permet de prendre en compte ce concept. En outre, à partir des réalités du milieu, ce travail étudie la mise en œuvre de chaque critère du SLI dès la définition d'un équipement. Enfin, la recherche de relations contribue à une meilleure intégration de ces deux concepts dans une démarche de conception. Pour une meilleure compréhension de l'analyse des questions abordées et des approches de solution proposées, il est indispensable de présenter le contexte de l'étude.

### Contexte sociotechnique et économique africain

Les PME et PMI évoluent dans un environnement contraint caractérisé par les 12 constatations présentées au Tableau 1 sous forme de contraintes et leurs impacts (Starkey, 1994; Spinelli, 1996; ONUDI, 2000; Diallo, 2000; Rozas, 2001; Azouma, 2005; Minouiu, 2005; Fremy, 2006; Bationo, 2007).

Tableau 1 : L'environnement des PME et PMI

Contrainte	Impact
Faible capacité d'investissement et de pouvoir d'achat des populations	Limitation de la productivité et par conséquent du marché commercial
Manque d'accès fluvial à un port maritime	Un tiers de la population totale en Afrique vit dans des pays enclavés (14 pays en tout), sans accès fluvial à un port maritime
Investissements très souvent dominés par les bailleurs de fonds étrangers et les projets	Déviations des politiques nationales de développement, solutions exogènes pas toujours adaptées
Accès au crédit très limité	Frein au développement des activités de production et d'innovation
Analphabétisme, production agricole et agroalimentaire à petite échelle	Ralentissement de l'adoption des techniques et technologies modernes plus performantes
Secteur informel qui rend difficile l'action des pouvoirs publics en termes de prélèvement des impôts et de prise de décisions pour les PME et PMI	Contribution au déficit du budget des États, peu d'entreprises compétitives sur le marché international
Comportements socioculturels	Empêchement d'une gestion plus rationnelle des entreprises (gestion de type familial, peu ou pas d'enregistrement et d'analyse approfondie des informations liées aux activités de production et de maintenance)
Préférences des utilisateurs d'équipements pour les pièces « bon marché »	Pièces « bon marché » disponibles localement au détriment des pièces d'origine plus chères mais résistantes à l'usure
Exploitation faible ou irrationnelle des matériaux locaux ou localement disponibles et des dérivés d'activités locales	Augmentation du coût de possession des équipements fabriqués localement
Importation de produits coûteux et exportation de produits bruts	Fuite des capitaux et la pauvreté : problème d'équité des prix et pas de valeur ajoutée pour le producteur
Infrastructures de transport, de communication, d'énergie et d'eau inexistantes ou peu développées dans les zones rurales	Vente de produits bruts, peu ou pas d'unités de transformation et de ce fait, pas de plus-value pour les agriculteurs
Coûts de l'énergie (électricité et carburant), du transport et des communications restent encore très chers pour les petites entreprises	Augmentation du coût de possession des équipements et du coût des produits et des services
Barrières douanières et taxes à l'importation atteignent 20 à 30 %	Certaines décisions politico-économiques pénalisent lourdement la fabrication locale de matériels : la taxation inopportune des matériaux importés nécessaires à la fabrication de matériels sur place
Introduction de matériels agricoles et agroalimentaires complets autorisée en exonération des taxes	Fabrication locale de matériels n'est pas assez encouragée et favorisée en vue de la maîtrise des technologies

## Pertinence de la logistique totalement intégrée - LI

### Soutien Logistique Intégré – SLI

Le SLI est « une approche globale et itérative du management et des techniques nécessaires pour assurer à un système, ses performances aux meilleurs coûts et délais tout au long du cycle de vie » (Pons et Chevalier, 1996). L'environnement du soutien logistique dit « intégré » est composé du « sous-système logistique » en corrélation avec le « sous-système équipement ». « Les activités consistant à spécifier, définir, développer, produire et livrer en temps utile l'ensemble des produits constituent le « sous-système de soutien » (Dumez, 1993). Le SLI est caractérisé par 9 critères qui doivent être en adéquation avec les besoins et l'environnement de l'utilisateur d'équipement : la documentation technique, le plan de maintenance, la formation des utilisateurs, la manutention et le transport, le soutien informatique, les infrastructures, les approvisionnements (pièces de rechange et intrants, etc.), le personnel et les équipements de soutien.

L'armée américaine a introduit un dixième critère de SLI, le « *Design interface* » qui se décline en dix sous-critères : la fiabilité, la maintenabilité, la standardisation, l'interopérationalité, la sûreté de fonctionnement, la sécurité, la maniabilité ou facilité d'utilisation, l'environnement et la disposition des matières dangereuses, la confidentialité et la législation.

Ce critère du SLI comprend également 2 concepts : la conception pour la testabilité et la conception pour l'élimination de l'équipement (US ARMY, 2005 ; Anon.1, 2007). Le maintien en condition opérationnelle des systèmes interopérationalnels tout en garantissant à la fois la sûreté de fonctionnement et la sécurité puis en prévoyant les risques système, est très complexe et coûteux. À titre d'exemple, l'ensemble du système opérationnel d'avions de combat et d'avions ravitailleurs en vol qui doit être maintenu en condition opérationnelle par le soutien logistique. En outre, concernant la protection de l'environnement, les conditions : les traitements, les risques et les coûts indispensables à la disposition responsable des armes nucléaires et chimiques fabriquées par des industries de pointe ne sont pas comparables à ceux d'une batterie de véhicule et d'un réfrigérateur fabriqués par des PME et PMI. Ainsi, en considérant l'ensemble des sous-critères proposés par l'armée

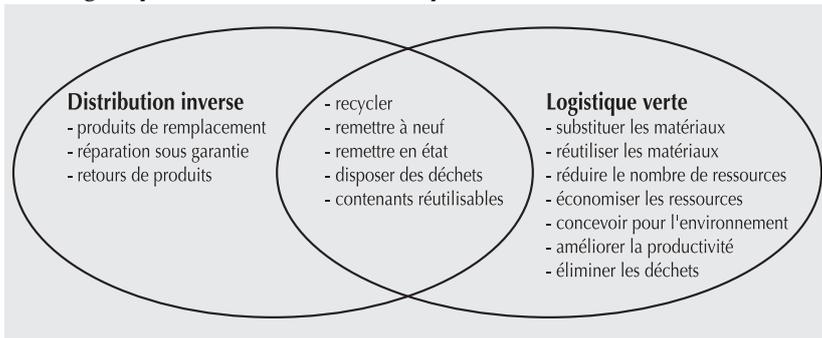
américaine pour le « *design interface* », ce critère s'apparente plus à un concept en soi qu'à un simple critère. C'est une approche élaborée surtout pour des systèmes très complexes comme les systèmes d'armement et de destruction massive, de plus en plus sophistiqués, qui ne convient pas aux entreprises de production des services et des biens. De ce fait, un dixième critère allégé de SLI, plus accessible aux entreprises de type PME et PMI, est proposé à la section 6.3 qui précise les relations entre le SLI et la LI.

En Afrique, les forgerons ont acquis la capacité de fabrication et de maintenance de proximité des équipements agricoles manuels et à traction animale. Les institutions de développement et les équipementiers forment les utilisateurs et multiplient les dépôts de pièces de rechange en collaboration avec les commerçants. En ce qui concerne les équipements agroalimentaires et les tracteurs, ces mêmes conditions ne sont pas très souvent assurées dans les zones rurales. Il faut alors rechercher des solutions pour fournir un soutien logistique plus efficace à ces équipements, d'où l'intérêt de l'adoption du SLI. L'ensemble des critères du SLI peut être pris en compte à partir de la définition d'un équipement, pour faciliter son exploitation et sa maintenance puis améliorer sa durée de vie ou de service. Des solutions pour la mise en œuvre de chaque critère du SLI permettent à une équipe de conception d'appliquer concrètement ce concept dans l'environnement sociotechnique et économique africain.

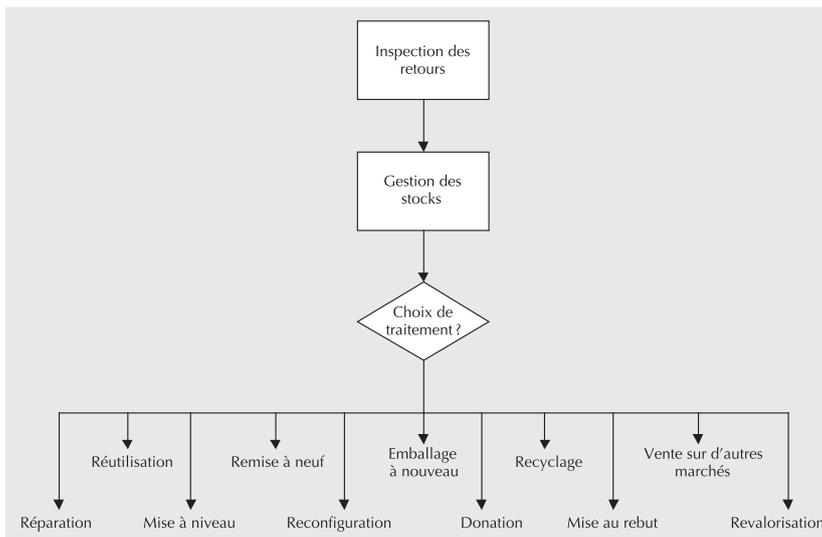
### Logistique Inverse – LI

Des définitions orientées écologie, protection de l'environnement et meilleure gestion des flux des retours de produits dans les entreprises, sont données par plusieurs auteurs (Wu et Dunn, 1995 ; Rogers et Tibben-Lembke, 1998 ; Stock, 1998 ; Rodrigue *et al.*, 2001). Dans cette étude, nous adoptons la définition proposée par Lambert et Riopel (2005). « *La logistique inverse est le processus de planification, d'implantation et de contrôle de l'efficacité, de la rentabilité des matières premières, des en-cours de production, des produits finis et l'information pertinente du point d'utilisation jusqu'au point d'origine dans le but de reprendre ou générer de la valeur ou pour en disposer de la bonne façon tout en assurant une utilisation efficace et environnementale des ressources mises en œuvre* ». Elle est illustrée par la figure 1 qui présente les interrelations entre les deux aspects complémentaires de la LI.

**Figure 1 : Logistique inverse : relations entre la distribution inverse et la logistique verte (Azouma et Riopel, 2007)**



**Figure 2 : Étapes du traitement (Lambert et Riopel, 2005)**



Le modèle intégrateur de la LI se déploie en 5 phases : Barrière, Collecte, Tri, Traitement, Système d'expédition, dont l'étape de traitement se décline en plusieurs choix de dispositions ou traitements (Figure 2).

En général, 2 raisons majeures sont à l'origine des retours d'EAA en Afrique : la réparation sous garantie et le remplacement pour des raisons de mauvais fonctionnement. Cette situation, souvent pas réglementée, est traitée à l'amiable entre l'équipementier ou le commerçant et le client. Une autre raison de retour des produits est le recyclage des équipements en fin de service (Yang et Wang, 2007 ; Feng et Zhijun, 2008). Ce recyclage n'est pas encore organisé ni surtout obligatoire pour le couple «utilisateur - fabricant» en Afrique. Les mécaniciens, les forgerons, les fonderies locales et les PMI utilisent des matériaux et matières d'œuvre d'occasion ou de récupération dans la fabrication et la réparation des équipements. Par exemple, des tôles, des cornières et des fers ronds récupérés sont utilisés pour la fabrication ou la réparation d'EAA. Il

s'agit d'une pratique irrationnelle et non organisée de la LI.

Pour ce faire, 2 sources d'approvisionnement s'offrent aux équipementiers : la casse des automobiles, des tracteurs, des chariots, des appareils électroménagers et de diverses infrastructures métalliques et le retour en fin d'usage d'EAA fabriqués localement ou importés. L'exploitation de ces 2 sources de matières par une planification et organisation rationnelles de stocks doit permettre : de protéger l'environnement en débarrassant les espaces et ruelles souvent jonchés de ferrailles et de carcasses d'engins; de disposer et rentabiliser au mieux les matières premières; de reprendre des pièces et ferrailles pour générer de la valeur. À partir de l'analyse des enquêtes sur le terrain et des choix de disposition de la LI, des approches de solution d'intégration sont proposées.

### Marché de la LI

Pirot (1998) écrivait : « les pays africains sont fortement dépendant des conditions d'approvisionnement en machines et en pièces détachées : problèmes de devises, de délais, d'acheminement, de disparité de marques et des modèles ». Face à cette situation, il s'avère indispensable d'explorer les solutions qu'offrent les potentialités du marché de la LI. En Afrique, les artisans utilisent principalement les matériaux de récupération ou les ferrailles pour la fabrication de tout ou partie d'EAA (Makinde, 1993 ; Le Thiec, 1996). Les aciers à ressort, les aciers de voies ferrées et certains aciers pour les essieux permettent de fabriquer des outils de forge, tels que les dégorgeoirs, les étampes d'enclume, etc., dont la durée de vie utile est satisfaisante (Stokes, 1994). Au Nord du Cameroun, la récupération constitue la principale source d'approvisionnement en fer pour 95 % des artisans. Les prix des matériels souvent de qualité inférieure, produits par les forgerons, varient entre 40 et 90 % des prix de ceux importés. Au Sénégal, les pièces sont vendues 2 à 3 fois moins chères que les modèles d'origine. Par exemple à Bobo-Dioulasso au Burkina Faso, pays enclavé, les matières d'œuvre coûtent 20 à 54 % plus cher qu'au Ghana (Ouattara et Ouédraogo, 1998). Les charrettes à traction animale, fabriquées à l'aide d'essieux de vieilles voitures, sont très répandues au Nigeria, au Ghana, au Zimbabwe, au Botswana, en Namibie, au Malawi central, en Tanzanie centrale et septentrionale (Starkey, 1993). Holtkamp (1991) affirme que le succès remarquable de petits tracteurs d'Ayudhaya

(en Thaïlande) ou de Tinkabi (au Swaziland), imparfaits sur le plan de la technique, repose sur la proximité des fabricants par rapport aux principales régions d'utilisation de leur produit. La plupart des pièces sont disponibles en 1 ou 2 jours. Les tracteurs d'Ayudhaya sont assemblés à partir de pièces neuves et de composants d'occasion révisés. Au sortir de la guerre, plusieurs pays ont fait l'expérience de l'utilisation de pièces d'occasion pour assembler un tracteur « neuf » à des coûts de production sensiblement réduits : RFA, Égypte et «Jeepney» aux Philippines. Suite à la directive 2000/53/CE, en Europe, dès la construction d'un nouveau véhicule, sont prévues les procédures de désassemblage décrivant le mode de démontage, la liste des pièces à récupérer et leur composition (J.O.C.E, 2000). Les procédures de désassemblage de la Renault Laguna ont ainsi été transmises aux démolisseurs au moment même de son lancement commercial (Pimor, 2001). Aux États-Unis, Gupta et Isaacs (1997) expliquent que le recyclage des véhicules automobiles est en place depuis plusieurs années et se fait en deux étapes, la première consiste à démonter les pièces de valeur pour les réutiliser et la deuxième, à envoyer le reste de la carcasse au recyclage pour les matériaux. Les épaves de véhicules contenant 80 % de métaux constituent une importante source de matières premières pour les industries de recyclage ou de métallurgie en Taiwan. Sont également recyclées, les motocyclettes (Lee, 1997). Minner et Kleber (2001) déclare qu'il y a des raisons économiques et écologiques de réutiliser les pièces récupérées de vieux produits, soit pour les utiliser dans de nouveaux produits ou s'en servir comme pièces de rechange pour le service après-vente. 70 % des clients considèrent que leur décision d'achat est conditionnée par la garantie de pouvoir retourner le produit (Feng et Zhijun, 2008). Selon ces auteurs, les fabricants d'équipements très coûteux et complexes, tels que ceux de l'industrie de défense, la remise à niveau et la réutilisation des composants pourraient réduire de façon substantielle le besoin d'achat de nouveaux équipements. Ils indiquent également que la fonction LI est un facteur déterminant dans le choix d'un fournisseur de service après-vente.

#### **Protection de l'environnement et gestion des ressources**

Certes, plusieurs pays africains adoptent des dispositions règlementant l'importation, la commercialisation, l'utilisation et la réexportation des substances qui appauvrissent la

couche d'ozone et des équipements les contenant (U.E.M.O.A, 2005 ; U.E.A.C, 2005). Ce n'est pas suffisant, car plusieurs autres actions, tout aussi indispensables sont entreprises ailleurs pour le développement durable. Pour preuve, la directive de la Communauté européenne sur le matériel d'emballage stipule que le client peut le laisser au détaillant et ce dernier doit en assurer le recyclage (Fleischmann *et al*, 1997). Cette loi basée sur le concept allemand, « *Green Dot* » est également adoptée dans plusieurs pays d'Asie (Stock, 1998). Par exemple, à Taiwan, « *The Environmental Protection Administration* » a répertorié 16 produits tels que les PVC, les bouteilles, les véhicules, les acides de batteries, les huiles usées, etc., pour lesquels, en fin de vie ou après usage, il confère la responsabilité de la bonne disposition et du recyclage aux producteurs, importateurs et aux détaillants (Lee, 1997). La directive 2002/96/CE du Parlement européen et du Conseil fixe des mesures visant à prévenir la formation de déchets électriques et électroniques ainsi qu'à promouvoir leur réutilisation, leur recyclage et d'autres formes de valorisation. En outre, en vue de contribuer à la valorisation et à l'élimination des déchets des équipements électriques et électroniques, ainsi qu'à la protection de la santé humaine, les directives 2002/95/CE fixent des mesures relatives à la limitation de l'utilisation de substances dangereuses dans ces équipements. Ces directives sont suivies de plusieurs modifications et dérogations par rapport aux progrès techniques enregistrés jusqu'en 2006 (J.O.C.E, 2002a) et (J.O.C.E, 2002b). Des modèles mathématiques sont proposés en vue d'assurer une gestion conservatoire des matières premières, la réduction des rebuts ou déchets en optimisant les opérations des réseaux de chaîne logistique et de logistique inverse (Kocabasoglu *et al*, 2007 ; Min et Ko, 2008). Srivastava (2008) a défini un nouveau concept, la gestion de la chaîne logistique verte soit « *Green supply chain management - GrSCM* ». Ce concept préconise l'intégration de l'environnement dans la gestion de la chaîne logistique en tenant compte de la conception, des matières d'œuvre, des procédés de fabrication, de la livraison du produit final aux clients et de la gestion de la fin de vie du produit. Cette approche rejoint la démarche qui consiste à intégrer la LI dès la conception d'un équipement.

Les normes ISO 14000, 14001 et 14004 donnent des directives d'écomanagement (Stock, 1998), promoteur du développement durable

et moteur de la LI dans les entreprises et sociétés de services dans les pays industrialisés. Ainsi, pour une meilleure protection de l'environnement et une gestion plus économique des ressources en Afrique, des directives en matière de LI sont indispensables pour compléter les dispositions sus-mentionnées.

L'analyse des critères du Soutien logistique intégré (SLI) et de la Logistique inverse (LI), les résultats d'enquêtes sur les pratiques de fabrication et de maintenance d'équipements agricoles et agroalimentaires, le contexte sociotechnique et économique africain puis l'étude des directives de protection de l'environnement promues dans le monde, permettent de proposer des solutions pragmatiques d'application du LTI dans la conception d'équipements.

### Résultats d'enquêtes auprès des utilisateurs d'équipements et des équipementiers

Des enquêtes réalisées auprès de 28 utilisateurs d'équipements en Afrique de l'Ouest montrent que 88 % des agriculteurs choisis de façon aléatoire pour répondre aux questions sont analphabètes, mais les transformateurs ont au moins fréquenté l'école primaire. Il s'agit essentiellement de système de production

de type familial ou coopératif (Azouma, 2005). Au Nord du Cameroun, 71 % des artisans qui fabriquent les équipements agricoles à traction animale sont analphabètes (Tchinda, 2000). Une enquête effectuée au Burkina Faso par Bationo (2007) auprès de 39 unités de transformation agroalimentaire montre que 71 % des opérateurs ont une formation par « apprentissage sur le tas ». Ces opérateurs sont d'un niveau scolaire généralement très faible et ont des difficultés pour lire et écrire. Ce constat doit être pris en compte dans la caractérisation de la formation à dispenser, dans l'élaboration du manuel d'utilisation et la mise en place du soutien informatique. Parmi les problèmes que rencontrent les 12 équipementiers interrogés, 83 % considèrent que la disponibilité des matériaux et des matières d'œuvre est prépondérante.

Les difficultés d'approvisionnement concernent les fer plats de 30 x 10, 50 x 20, 40 x 12, l'acier au manganosilicium, les aciers durs, les barres en acier doux de diamètre 20 à 100 mm, l'acier en inox de diamètre 60 mm, le tube de diamètre 160 x 16. La plupart de ces matières ne sont pas fabriquées dans les pays d'Afrique. Les commandes passées en Europe, en Amérique ou en Asie ne sont recevables par les fournisseurs et rentables pour les équipementiers, aux fonds de roulement souvent limités, qu'à partir d'une certaine quantité. L'une des solutions adoptées par les équipementiers pour réduire les coûts de fabrication et rester rentables est l'utilisation dans la mesure du possible des matériaux de récupération (Tableau 2) et (Figure 3). De façon générale, dans le cas de la conception des équipements à petite échelle qui caractérise l'Afrique, au regard de la littérature et des pratiques, il y a lieu de faire les remarques suivantes : au cours du cycle de vie, l'unique traitement de la LI que les équipes de conception confèrent aux équipements fabriqués, est la fonction « réparé »; le SLI n'est pas pris en compte dès la conception de l'équipement; il n'y a pas encore de législation qui oblige les entreprises et fournisseurs de produits ou services à intégrer la LI. Ainsi, nos différentes propositions vont permettre de pallier ces insuffisances.

Tableau 2 : Matériaux de récupération et leur utilisation dans la fabrication

Désignation	Utilisation dans la conception
Lames de ressort de véhicule Ressort en spirales de véhicule	Socs de charrue, becs de soc, pointes de butteurs, dents de râteau
Châssis de véhicule Tôles de citernes et de tanks	Bâtis de machines, châssis de chariots, de charrettes, de remorques
Essieux avant de véhicules Demi-arbre de camion	Charrette Remorque
Pièces en bronze des blocs	Bagues, coussinets
Pignons de boîtes de vitesses, chaînes, roulements	Chaînes cinématiques de matériels agricoles et agroalimentaires
Pompes hydrauliques de véhicules lourds	Système de levage, presses

Figure 3 : Marché de la récupération à Akodésséwa à Lomé au Togo



Photo: Azouma, 2008.

### Démarche de LTI dans la conception d'équipements pour les pays d'Afrique

Nous préconisons 3 types de propositions pour une prise en compte efficace et effi-

ciente du SLI et de la LI dans une démarche de conception pour l'Afrique : 1) principes et méthodes pratiques d'intégration du SLI dans la conception; 2) approches de solution pour l'intégration de la LI dans la conception et 3) relations et recommandations d'ordre général.

**Méthodes d'intégration du SLI dans la conception**

Le tableau 3 indique la démarche d'application du SLI au cours de la conception d'un équipement pour l'Afrique. Les figures 4 et 5 complètent cette démarche et présentent les principes d'intégration de la maintenabilité d'un équipement à concevoir.

La définition d'un Cahier des Charges Disponibilité (CdCD) au cours de l'analyse du besoin et de l'état de l'art, permet de caractériser en collaboration avec l'équipementier et les utilisateurs d'un équipement à concevoir, les critères de fiabilité et de maintenabilité attendus (Azouma, 2005). Les questions à prendre en compte concerneront : 1) la résistance des pièces et sous-ensembles à l'usure et à la rupture ; 2) le taux de qualité des produits (équipement et produits alimentaires provenant de cet équipement) ; 3) la charge effective annuelle de travail ou la production agricole annuelle ; 4) le fonctionnement manuel, motorisé ou automatisé ; 5) les pannes fréquentes des équipements utilisés ; 6) les coûts moyens de réparation ; 7) la détermination des critères de maintenabilité par rapport à l'environnement technologique.

Ces critères de maintenabilité sont : la normalisation et la standardisation par rapport aux composants des équipements fabriqués localement et aux matières d'œuvre disponibles, la réduction du nombre de systèmes de fixation, les compétences en maintenance dans le milieu ou la région d'utilisation, les tâches de maintenance généralement exécutées par les utilisateurs, les temps d'attente du réparateur et la durée moyenne des réparations, les conséquences vécues de non-maintenance.

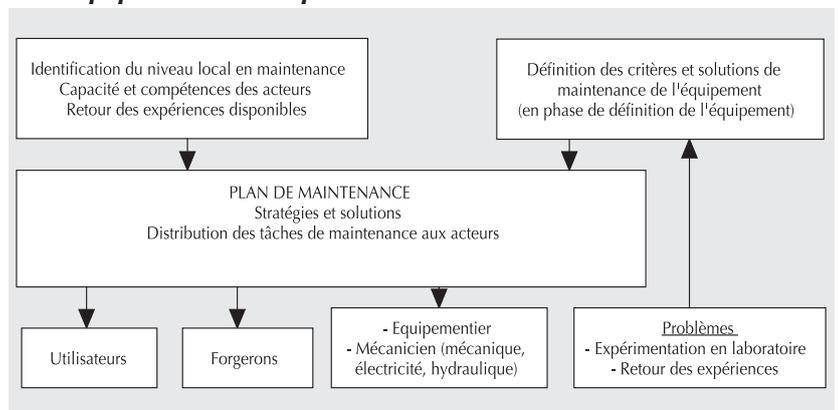
**Méthodes pour les EAA**

La figure 6 montre le système de LI envisagé pour les équipementiers d'Afrique avec les choix de traitement retenus. Considérant que l'équipementier doit contribuer à l'élimination et à la revalorisation de son produit au cours ou en fin de service, l'étape de la barrière du modèle intégrateur (Lambert et Riopel, 2005), dans notre cas d'étude, n'est pas nécessaire.

**Tableau 3 : Méthodes pratiques d'intégration des 9 critères du SLI dans la conception pour l'Afrique**

Critères du SLI	Méthodes pratiques d'intégration
Documentation technique	Rédaction d'un manuel d'utilisation essentiellement sur la base de pictogrammes et de symboles
Plan de maintenance	CdCD - Démarche d'élaboration d'un plan de maintenance - Maintenance Distribuée pour l'Afrique (MDA) (Figure 4)
Formation des utilisateurs	Travaux Pratiques : utilisation + maintenance préventive + automaintenance - Suivi temporaire du couple « utilisateur-équipement » si possible — Alphabétisation
Manutention et transport	Automotricité de l'équipement — Réduction du poids de l'équipement — Désassemblage possible en sous-ensembles
Soutien informatique	Pour les PME de production agricole et agroalimentaire, prévoir un programme de saisie de données aux fins d'analyse et de maintenance des équipements
Infrastructures	
Approvisionnements (pièces & intrants)	Fonctionner uniquement si possible à partir de la Chaîne de Soutien Logistique du milieu d'exploitation de l'équipement (Figure 5)
Personnel	Réseau local de maintenance centrée sur les tâches - Utilisateurs : Maintenance de niveau 1 (Norme FDX 60-000) Forgerons ruraux : Maintenance de niveau 2 Mécaniciens : Maintenance de niveaux 3, 4 et 5
Équipements de soutien	Pouvoir exploiter l'équipement conçu sans équipements de soutien non intégrés ou avec ceux disponibles localement

**Figure 4 : Démarche d'élaboration d'un plan de maintenance d'un équipement en Afrique**



**Figure 5 : Chaîne de soutien logistique aux équipements en Afrique**

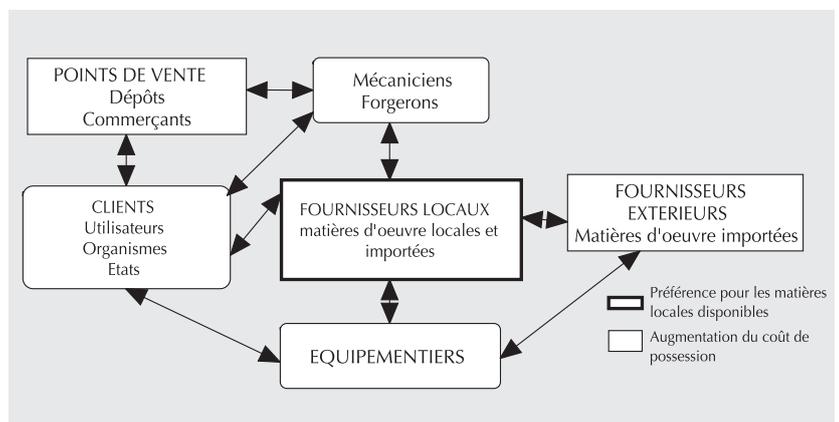


Figure 6 : Démarche de la logistique inverse pour les équipementiers en Afrique

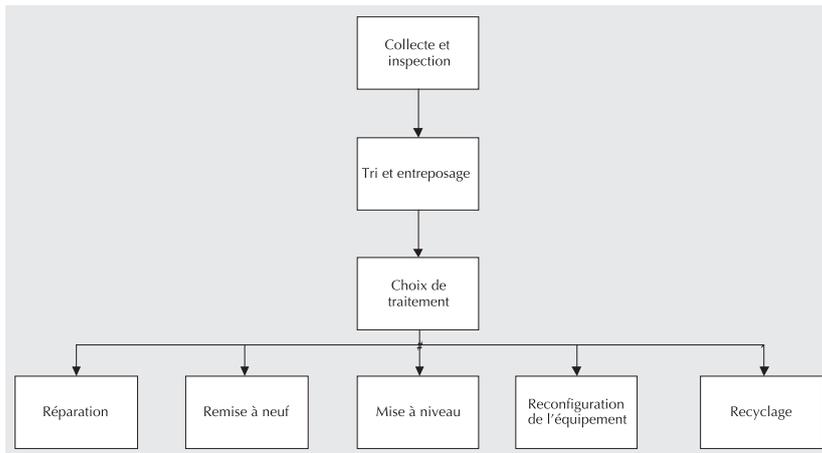
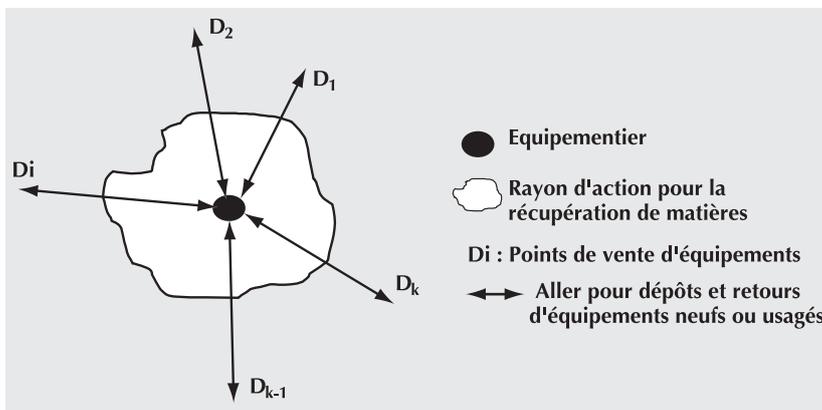


Figure 7 : Système d'approvisionnement en matériaux et matières d'œuvre orienté LI pour l'Afrique



Aussi, les traitements retenus se justifient par les deux raisons majeures à l'origine des retours d'EAA évoquées par le contexte sociotechnique et économique africain décrit dans le sous titre 3 puis dans la section 4.2.

*Collecte et inspection*

Les utilisateurs rapportent leurs équipements à traiter chez l'équipementier ou dans les points de vente : dépôts ou chez le commerçant. À partir de points de ramassage établis de commun accord avec les différents acteurs et en se servant des points de vente comme centres d'information, il est possible d'envisager la programmation de collectes groupées. L'équipementier devra signer un contrat ou avoir une entente ferme avec le commerçant sur le retour des produits. L'inspection permet d'une part de différencier les équipements amortis et d'autre part, de s'assurer de la conformité de la demande du client avec l'état de l'équipement avant le transport vers l'atelier de fabrication.

*Tri et entreposage*

Les équipements sont classés selon les critères d'inspection énoncés et par types : agricole et agroalimentaire. Il faut aménager un espace pour ranger les équipements en toute sécurité.

*Traitement*

Nous préconisons 5 choix de traitement. Une dynamique de R&D au sein de l'entreprise permet une meilleure exploitation de 2 offres de service aux clients : la remise à niveau et la reconfiguration du produit. La remise à niveau est réalisée sur demande du client ou sur décision du fabricant pour la revente. Le recyclage concerne les équipements en fin d'usage ou service qui subissent des opérations de récupération de pièces puis les carcasses sont vendues à la fonderie.

Le système d'information privilégie les moyens de communication adoptés par les différents acteurs : les équipementiers, les opérateurs dans les points de vente et les utilisateurs. Il s'agit du téléphone ou de la télécopie en zones urbaines, de commissions par l'intermédiaire de voyageurs, de courriers transmis par les chauffeurs de véhicules de transport en commun, des déplacements de chaque acteur pour affaire dans les zones rurales. Cette approche de LI est complétée par un système d'approvisionnement en pièces et matériaux récupérés, illustré par la figure 7 et plusieurs préconisations. L'équipementier mène des activités de désassemblage de véhicules, d'appareils électroménagers et de constructions métalliques dans un rayon régional économiquement accessible; c'est une nouvelle source de revenus : vente de diverses pièces de rechange aux utilisateurs et de la carcasse aux fonderies. Le dépôt d'équipements neufs par l'équipementier et la reprise de ceux en fin d'usage rapportés par les utilisateurs dans les points de vente ou chez les commerçants permettent d'éviter des frais de transport imputés exclusivement à l'activité des retours. Les retours vont engendrer trois offres de service très peu ou pas exploitées : la remise à niveau et surtout la remise à neuf comme alternative à la réparation, la reconfiguration d'EAA puis la vente de carcasses métalliques à des fins de recyclage en fonderie. À partir de l'étude des coûts des réseaux de collecte et de traitements des équipements renvoyés, Srivastava (2008) estime que dans le contexte indien, la refabrication ou la remise à neuf à petite échelle n'est pas économiquement viable. Fort de cette expérience, pour la mise en œuvre de la LI en Afrique, il

faut minimaliser les investissements et traiter une masse critique d'équipements.

À cet effet, depuis quelques années, des sociétés indiennes mènent d'intenses activités d'achat de carcasses de tout genre, véhicules et constructions métalliques qu'ils exportent vers l'Inde à partir de plusieurs ports : Lomé (Togo), Cotonou (Bénin), Abidjan (Côte d'Ivoire). En dehors des équipements hors usage collectés dans ces pays côtiers, d'importantes quantités de carcasses arrivent de différents pays enclavés d'Afrique de l'Ouest : Burkina Faso, Mali, Niger (Figure 8). Dans le système de fabrication à petite échelle, il y a souvent des périodes mortes sans ou avec des productions très faibles. On assiste souvent à des licenciements temporaires ou « congés techniques » non rémunérés. Ces temps seront consacrés aux différents traitements inhérents à l'adoption de la LI : c'est une nouvelle solution de plein emploi.

#### **Relations entre le SLI et la LI et recommandations**

L'étude des concepts du SLI et de la LI permet de relever plusieurs interrelations: la maintenance (réparer ou remettre à neuf les équipements); l'approvisionnement (pièces de rechange, matériaux et intrants neufs ou récupérés); la manutention et le transport, les critères de facilitation de l'exploitation et des retours de produits (désassemblage, mise en kits, portabilité de l'équipement); l'utilisation rationnelle de l'équipement (amélioration de la productivité et économie des ressources). Le SLI doit évoluer vers un dixième critère adapté aux conditions des entreprises de production des services et des biens qui porte sur la reprise du produit ou de l'équipement en fin de service pour une meilleure disposition ou pour des traitements adéquats. Ce nouveau critère est conforme aux nouvelles législations déjà imposées aux fabricants en Europe, en Asie et en Amérique du Nord et qui vont certainement s'étendre au monde entier. Ainsi, nous obtenons un concept actualisé du SLI (Tableau 4) que nous nommons « le SLI vert », car il prend en compte la gestion conservatoire des matières et la disposition responsable des matières dangereuses.

Plusieurs recommandations sont proposées pour faciliter et permettre une prise en compte efficace et efficiente du SLI et de la LI dès la conception d'un équipement.

- Faire une étude technicoéconomique pour la mise en place progressive des activités de la LI dans les PMI : moyens matériels et techniques indispensables, espace d'entre-

**Figure 8 : Ferrailles en attente de mise en conteneurs dans le port de Lomé au Togo**



Photo: Azouma, 2008.

**Tableau 4 : Les 10 critères du SLI vert**

N	Critère
1	La documentation technique
2	Le plan de maintenance
3	La formation des utilisateurs
4	La manutention et le transport
5	Le soutien informatique
6	Les infrastructures
7	Les approvisionnements (pièces de rechange et intrants)
8	Le personnel
9	Les équipements de soutien
10	Le retour des équipements hors usage ou en fin de service*

\*Nouveau critère introduit dans le SLI

posage, acquisition de plans de désassemblage s'ils existent, organisation du travail et du système d'information.

- Former les travailleurs aux techniques de désassemblage et à la disposition des matières dangereuses de façon responsable.
- Élaborer une politique commerciale et de marketing autour des nouvelles offres de service aux clients : intérêts des utilisateurs pour le retour des équipements (indemnités forfaitaires, offres de conditions incitatives pour le remplacement d'un équipement rapporté par un utilisateur) et sensibilisation pour la participation à la protection de l'environnement.
- Enrichir le répertoire des types de pièces récupérées (Tableau 2) qui composent les EAA. Inciter les États d'Afrique à prendre des directives pour promouvoir la LI, en faisant obligation aux équipementiers, importateurs et commerçants de reprendre les équipements pour en assurer les meilleurs traitements. Ils auront l'obligation de reprendre les équipements en fin de service sans taxer l'utilisateur.

## Conclusion

Ce travail a permis de proposer un nouveau concept, la LTI obtenue à partir de l'étude de la pertinence du SLI et de la LI par rapport à la conception d'équipements pour les PdS et de la recherche des interrelations entre ces 2 concepts. Des solutions d'intégration du SLI et de la LI complétées par un système d'approvisionnement en matériaux et matières d'œuvre orienté LI puis des recommandations permettent de prendre en compte la LTI dans une démarche de conception pour l'Afrique. Malgré quelques pratiques observées sur le terrain qui relèvent de la LTI, la conception en entreprise d'un nouveau produit par une équipe pluridisciplinaire sera le lieu de la validation de l'ensemble des propositions de cette étude.

## Bibliographie

Anonyme 1 (2007), [http://en.wikipedia.org/wiki/Integrated\\_Logistics\\_Support](http://en.wikipedia.org/wiki/Integrated_Logistics_Support). Consulté, le 26 juin 2007.

Azouma, Y. O. (2005), Intégration de la fabrication et de la maintenance dans une démarche de conception pluridisciplinaire d'équipements agricoles et agroalimentaires pour l'Afrique. Thèse de doctorat en Génie industriel UFR des Sciences et Techniques de Franche-Comté, Besançon.

Azouma, Y. O., Giroux, F., Varchon, D. (2007), "Conception d'un épandeur de fumures organiques pour les exploitations à traction animale d'Afrique", *Tropicultura*, vol. 25 no2, pp. 75-81.

Azouma, Y. O., Riopel, D. (2007), Logistique totalement intégrée pour la conception d'équipements agricoles et agroalimentaires pour l'Afrique, CIRRELT - 25.

Bationo, F. (2007), Prise en compte du réseau sociotechnique de maintenance dans la conception d'équipements. Cas des petites unités de transformation agroalimentaire des Pays d'Afrique de l'Ouest. Thèse de doctorat en Génie industriel, Institut National Polytechnique de Grenoble.

Diallo, M. (2000), Rapport d'audit de maintenance – SODEPAL, Burkina Faso : Cabinet d'Ingénierie Conseil en Maintenance (CINCOM-SARL).

Dumez, B. (1993), "Le soutien logistique intégré au sein de GIAT industries, In : Integrated Logistics and Concurrent Engineering", 22-26 mars 1993, Montpellier : Le

Corum, conférences cours et expositions, ILCE 93, pp. 183-196.

Feng, W. And Zhijun, T., (2008), "Research on Cooperation with 3PLs in Reverse Logistics", 2008 International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, WiCOM 2008.

Fleischmann, M. (2001), *Quantitative Models for Reverse Logistics*, Springer-Verlag, New York, NY, USA.

Fleischmann, M., Bloemhof-Ruwaard, J. M., Dekker, R. V. D. L. E., Van Nunen, J. A. E. E. et Van Wassenhove, L. N. (1997), "Quantitative models for reverse logistics: A review", *European Journal of Operational Research*, vol 103 n°1, pp. 1-17.

Fremy D. (2006), *Quid 2006*, Éditeur Robert LAFFONT.

Guide, V. D. R., Jayaraman V. (2000), *Supply Chain Management Incorporating Reverse Logistics*, Research paper series, APICS, Alexandria, VA, USA.

Gupta, S. M., Isaacs, J. A. (1997), Value Analysis of Disposal Strategies for Automobiles, *Computers & Industrial Engineering*, vol 33 n°1-2, pp. 325-328.

Holtkamp, R. (1991), *Les petits tracteurs à quatre roues pour régions tropicales et subtropicales : leur rôle dans le développement agricole et industriel*, Weikersheim : CTA et GTZ.

J.O.C.E., (2000), Directive 2000/53/CE du Parlement Européen et du Conseil du 18 septembre 2000 relative aux véhicules hors d'usage, *Journal Officiel des Communautés Européennes*.

J.O.C.E., (2002a), Directive 2002/95/CE du Parlement Européen et du Conseil du 27 janvier 2003 relative à la limitation de l'utilisation de certaines substances dangereuses dans les équipements électriques et électroniques, *Journal Officiel des Communautés Européennes*, JO L 37 du 13.02.2003.

J.O.C.E., (2002b), Directive 2002/96/CE du Parlement Européen et du Conseil, du 27 janvier 2003 relative aux déchets d'équipements électriques et électroniques, *Journal Officiel des Communautés Européennes*, JO L 37 du 13.02.2003.

Kocabasoglu, C., Prahinski, C. And Klassen, R., (2007), "Linking forward and reverse logistics supply chain investments. The role

- of business uncertainty”, *Journal of Operations Management*, vol. 25, pp.1141-1160.
- Lambert, S., Riopel, D. (2005), Cadre conceptuel pour un système de logistique inverse, *6<sup>ème</sup> Congrès international de génie industriel*, 7 – 10 juin 2005 – Besançon.
- Le Thiec G. (1996), *Agriculture africaine et traction animale*, Edition CIRAD – CTA.
- Lee C.-H. (1997), Management of scrap car recycling. *Resources Conservation and Recycling*, vol 20 n°3, pp. 207-217.
- Makinde, A. O. (1993), Relancer la forge pour la production d’outils agricoles manuels au Nigeria, In : FAO, Énergie humaine et animale dans la production agricole. *Actes d’Atelier, Harare, Zimbabwe : FAO*, 18 – 22 janvier 1993, pp. 144-146.
- Min, H., Ko, H.-J., (2008), “The dynamic design of a reverse logistics network from the perspective of third-party logistics service providers”, *International Journal of Production Economics*, vol. 113, pp.176-192.
- Minner, S., Kleber, R. (2001), Optimal control of production and remanufacturing in a simple recovery model with linear cost functions, *OR Spektrum*, vol 23 n°1, pp.3-24.
- Minouiu, D. (2005), *Avantage comparatif des produits agricoles en Afrique*, Appui de la FAO au NEPAD, FAO, Rome.
- ONUDI et Ministère togolais de l’industrie, du Commerce et du développement de la Zone Franche, (2000), *Le secteur informel : son rôle et sa contribution au développement de la micro-entreprise et des PME/PMI au Togo*, Lomé : ONUDI.
- Ouattara, A., Ouedraogo, A. (1998), Étude sur la fabrication artisanale d’équipements agricoles au Burkina Faso, Ouagadougou, Ministère de l’agriculture, Service mécanisation agricole.
- Pimor, Y. (2001), *Logistique. Techniques et mise en œuvre*, Dunod, Paris.
- Pirot, R. (1998), *La motorisation dans les cultures tropicales*, Montpellier, CIRAD.
- Pons, J., Chevalier, P. (1996), *La logistique intégrée*, éditions Hermès.
- Rodrigue, J.-P., Slack, B., Comtois, C. (2001), The paradoxes of green logistics, *9<sup>th</sup> World Conference on Transport Research*, Seoul.
- Rogers, D. S., Tibben-Lembke, R. S. (1998), *Going backwards: Reverse logistics trends and practices*, Reverse Logistics Executive Council, Reno, NV, USA.
- Rozas, C. (2001), Analyse comparée de l’innovation dans le domaine des équipements agro-alimentaires au Sénégal et au Ghana. Thèse de Master of Science en Génie agro-alimentaire méditerranéen tropical, ENSIA-SIARC, Montpellier.
- Spinelli, S. (1996), Étude de cas de la conception / fabrication des matériels de transport à traction animale au Burkina Faso, CIRAD-SAR/N°27.96. Montpellier.
- Srivastava, S., (2008), “Network design for reverse logistics”, *Omega (International Journal of Management Science)*, vol. 36, pp.535-548.
- Starkey, P. (1993), Traction animale : le point de vue du petit exploitant dans une perspective mondiale, In : FAO. Énergie humaine et animale dans la production agricole. *Actes d’Atelier. Harare, Zimbabwe : FAO*, 18 – 22 janvier 1993, pp. 95-100.
- Starkey, P. (1994), *Systèmes d’attelage et matériels à traction animale*, Publication de GATE, Eschborn : GTZ.
- Stock, J. R. (1998), Development and implementation of reverse logistics programs, *Annual Conference Proceeding Council of Logistics Management*, Anaheim, CA, USA, pp. 579-586.
- Stokes, J. B. (1994), *Génie agricole et développement. Manuel de formation aux Techniques de forgeage : niveau moyen*, Rome : bulletin des services agricoles de la FAO, 88/2.
- Tchinda, K. A. G. (2000), Fabrication des agro-équipements de traction animale dans la province du Nord du Cameroun : place et rôle de l’artisanat du fer, Institut de recherche Agricole pour le développement (IRAD) et Pôle régional de recherche appliquée au développement des savanes d’Afrique centrale (PRASAC), Université de Dschang, Cameroun.
- U.E.A.C., (2005), Afrique centrale : Règlement n°09/05-UEAC-143-CM-13 portant adoption de la Réglementation Commune sur le Contrôle de la Consommation des Substances Appauvrissant la couche d’Ozone dans l’espace CEMAC.
- U.E.M.O.A. (2005), Afrique de l’Ouest: Législation de l’UEMOA : Règlement n°04/2005/CM/UEMOA portant harmonisation des réglementations relatives à l’importa-

tion, à la commercialisation, à l'utilisation et à la réexploitation des substances qui appauvrissent la couche d'ozone et des équipements les contenant.

US ARMY, (2005), Army Regulation 700-127, Integrated logistics support, Headquarters Department of the Army, Washington, DC, 19 December 2005.

Wu H., Dunn S. C., (1995), Environmentally responsible logistics systems, *International*

*Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, vol 25 n°2, pp. 20-38.

Yang, H.-L. And Wang, C.-S., 2007, "Integrated Framework for Reverse Logistics", in *New Trends in Applied Artificial Intelligence*, Springer Berlin, Heidelberg, pp.501-510.