

République Algérienne Démocratique Et Populaire

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère De L'enseignement Supérieur Et De La Recherche
Scientifique

المدرسة الوطنية العليا للفلاحة
الحراش-الجزائر

Ecole Nationale Supérieure Agronomique
El-Harrach - Alger

MEMOIRE DE MAGISTER EN SCIENCES AGRONOMIQUES

Spécialité : Machinisme Agricole

*Présenté et soutenu publiquement
Par*

Karim LAABASSI

Le 30 Juin 2010

Etude de conception d'un mécanisme d'adaptation
destiné à l'amélioration technique du fonctionnement
du tablier de coupe des moissonneuses batteuses.

Promoteur : Mr. KACI F. Maître de Conférences (ENSA- EL-Harrach)

Jury:

Président:

Mr. AMARA M. Maître de Conférences (ENSA- EL-Harrach)

Examineurs :

Mr. BOUAZZIZ M. Maître de Conférences (ENP- El-Harrach)

Mr. ETSOURI K. Chargé de cours (ENSA- EL-Harrach)

Etude de conception d'un mécanisme d'adaptation destiné à l'amélioration technique du fonctionnement du tablier de coupe des moissonneuses batteuses.

Résumé :

Cette étude nous a permis de mettre la lumière sur l'importance de la conception comme étant un moyen de développement nécessaire à l'évolution du secteur de l'agriculture ; la solution mécanique apportée aux pratiques et aux activités agronomiques est source de prospérité si elle est bien définie et bien maîtrisée, tandis que la recherche des améliorations sur cette solution en traitant les problèmes d'interactions plante – machine, est un élément vital pour la continuité du développement.

La limite de fonctionnalité du tablier de coupe face à un état de culture particulier, qui est la verse, provoque des pertes à la coupe, cette limite se traduit par l'incapacité du rabatteur d'accomplir sa fonction, cette dernière qui est définie par les concepteur est fonction des paramètres d'un état de culture normal où l'angle d'inclinaison des tiges des plantes est supposé toujours proche de la verticale, en revanche tout changement dans l'état de la culture provoque un problème d'interaction et par conséquent un dysfonctionnement du système de moissonnage.

Nous avons procédé à une étude de conception préliminaire en proposant un mécanisme d'adaptation qui permettra d'élargir l'intervalle de la plage de fonctionnalité du tablier de coupe et d'améliorer la solution mécanique. Le mécanisme permet d'augmenter la surface de balayage du rabatteur pour permettre le contact avec les tiges inclinées, la variation géométrique est le résultat d'une translation conditionnée des lattes vers les tiges inclinées afin de rétablir le contact latte – tige.

Mots clé : moisson, battage, (moissonneuse – batteuse), tablier de coupe, système, conception, démarche, évolution, technologie, solution mécanique, caractère biologique, interaction, problème, concept, approche, récolte, pertes en grains, rabatteur, contact local, mouvements élémentaires, mécanisme, adaptation, facteur, principe, fonction.

Design study of an adaptation mechanism destined to a technical improvement of the header's (platform grain) combines harvesters function.

Abstract:

This study has shed light on the importance of design as a necessary development means for the progress of agriculture; the mechanical solution given to agronomic practices and activities is a source of prosperity, if it is well defined and well controlled; whereas the search for improvements on this solution, addressing the problems of interactions plant-machinery is vital for the continuity of development.

The limit feature of platform grain (header) facing a specific state of culture knowing as lodging, causes losses at cut step, this limitation arises from the inability of the revolving reel to perform its function, the latter is defined by the designer depends on the parameters of a normal state of culture where the angle of inclination of the stems of plants is assumed always close to the vertical, however any change in the state of culture causes a problem of interaction and consequently system dysfunction harvesting.

We proceeded to make a preliminary design study by providing a coping mechanism that allows expanding the functionality range of platform grain (header) and improve the mechanical solution too. The mechanism can increase the revolving reel's scanning surface to make contact with lodged stems; the geometrical change is the result of a bats controlled translation to gets lodged stems to rebuild the connection bats – stems.

Keywords: Harvesting, threshing, (combine-harvester), removable header, system, design, demarche, evolution, technology, mechanical solution, biological character, interaction, problem, concept, approach, harvest crop, crop losses, revolving reel, local contact, elementary motions, mechanism, adaptation, factor, principle, function.

دراسة تصميم آلية تكيف موجهة للتحسين التقني لعمل جهاز الجلب و القطع عند الحاصدات الدارسة

الملخص:

سمحت لنا هذه الدراسة بتسليط الضوء على أهمية التصميم وإبرازه كوسيلة تطوير ضرورية لعصرنه القطاع الفلاحي. الحل الميكانيكي للتعاملات و الأنشطة الفلاحية يعتبر مصدرا للازدهار إذا ما تم إنشائه والتحكم فيه بطريقة جيدة، غير أن البحث عن التحسينات على هذا الحل بالتعاطي مع مشاكل الربط بين الآلة و النبات يعتبر أمرا حيويا للاستمرار في التطور.

محدودية عمل جهاز الجلب و القطع أمام وضعية خاصة للمحاصيل و هي الانحناء الشديد و الدائم للسيقان ينجر عنها فقدان الغلة أثناء الحصاد. هذه المحدودية في العمل تتمثل في عدم قدرة البكرة الجالبة عن القيام بالمهام المحددة لها من قبل المصممين، هذا التحديد تم بناء على معطيات الوضعية الطبيعية للمحصول كون السيقان دائما في وضعية قائمة طبيعيا، أي تغيير في هذه المعطيات يخل بعمل نظام الحصاد.

لقد قمنا بدراسة تصميم مبدئية و هذا باقتراح آلية تسمح لنا بزيادة مجال عمل جهاز الجلب و القطع وتحسين الحل الميكانيكي، الآلية تسمح بزيادة مساحة مسح البكرة الجالبة و هذا بتمكين أطرافها من الاقتراب إلى السيقان المنحنية و إعادة الارتباط بين البكرة و الساق.

كلمات دالة: حصاد، درس، الحاصدة الدارسة ، جهاز الجلب و القطع، نظام، تصميم، خطوة ،تطور، تقنية، حل ميكانيكي، ميزة بيولوجية، ترابط، مشكل، مفهوم، منهجية، جني ،ضياح الحبوب،البكرة الجالبة، اتصال موضعي، حركات أساسية، آلية، تكيف، عامل، مبدأ، وظيفة.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail
A la mémoire de mon Père,
A ma Mère,
A mon Oncle et à ma Tante
A mes Frères et à Cousins
A Ma Soeur et à ma Cousine.

K. Laabassi

Remerciements

Je tiens avant tout à remercier Dieu tout puissant de m'avoir donné force et volonté pour achever ce modeste travail.

*Je remercie Monsieur **M. LAABASSI**, mon oncle et père à la fois pour tout ce qui m'a apporté comme soutien.*

*Mes remerciements vont également à Monsieur **F. KACI**, Maître de conférence à l'ENSA et Directeurs de ma thèse pour son aide, ses encouragements, sa patience et son soutien tout au long de la réalisation de ce travail.*

*Je remercie Monsieur **M. AMARA**, Maître de conférence à l'ENSA, d'avoir accepté de présider le jury de soutenance.*

*Je remercie, Monsieur **K. ETSOURI**, Chargée de Cours à l'ENSA et Monsieur **M. BOUAZIZ**, Maître de Conférence à l'ENP, d'avoir accepté d'examiner le document et faire partie du jury de soutenance.*

*Mes remerciements vont aussi à Monsieur **P. BERRY** scientifique principal de recherche à ADAS (UK Ltd) pour ses éclaircissements concernant une partie de ce travail.*

*Je remercie également tous mes enseignants « **sans exception** » ainsi que la section **Machinisme Agricole et Agroéquipement** et le personnel du **Génie Rural** de l'ENSA (ex- l'INA) pour leur aide.*

Je tiens aussi à remercier toute personne ayant contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

SOMMAIRE

SOMMAIRE	I
LISTE DES FIGURES	III
LISTE DES SIGLES ET ACRONYMES	V
INTRODUCTION GENERALE	1
PREMIERE PARTIE : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE	4
INTRODUCTION	5
CHAPITRE I : LES MOISSONNEUSES BATTEUSES <i>EVOLUTION D'UN CONCEPT</i>	6
INTRODUCTION	7
I. EVOLUTION TECHNOLOGIQUE DE LA MOISSON	8
I.1 LES TRAVAUX ANGLAIS ET ECOSSAIS	9
I.2 LES TRAVAUX AMERICAIN	16
I.2.1 <i>Les machines moissonneuses à coupe basse</i>	17
I.2.2 <i>Les machines récolteuses d'épis (headers)</i>	25
I.3 LES TRAVAUX AUSTRALIENS	26
II. EVOLUTION TECHNOLOGIQUE DE BATTAGE	27
II.1 LE BATTAGE MANUEL	27
II.2 LE BATTAGE MECANIQUE	30
II.2.1 <i>Battage mécanique en Europe</i>	30
II.2.2 <i>Battage mécanique aux Etats-Unis d'Amérique</i>	35
III. COMBINAISON DE LA MOISSON ET LE BATTAGE	38
III.1 RECOLTEUSE D'EPIS BATTEUSE (<i>HEADERS COMBINE</i>) AUX USA	38
III.2 RECOLTEUSE D'EPIS BATTEUSE (<i>STRIPING HARVESTER</i>) EN AUSTRALIE	42
IV. SYNTHESE GLOBALE DE L'EVOLUTION TECHNOLOGIQUE DES MOISSONNEUSES-BATTEUSES.	43
CHAPITRE II : CONNAISSANCES FONDAMENTALES POUR LA CONCEPTION	48
INTRODUCTION	49
I. DEFINITIONS ET VOCABULAIRE	50
I.1 DEFINITION DE LA CONCEPTION	50
I.2 DEFINITION D'UN PRODUIT NOUVEAU	51
I.3 LES DEMARCHES DE CONCEPTION DE PRODUIT NOUVEAU	52
I.3.1 <i>Les démarches « Cartésiennes » : linéaires, séquentielles.</i>	53
I.3.2 <i>Les démarches systémiques : simultanéité et globalité.</i>	55
I.3.3 <i>Exemples de démarches</i>	56
I.3.3.1 L'approche en Ingénierie Simultanée :	56
I.3.3.2 La démarche CPN-ENSAM : une démarche « prescriptible »	56
I.3.3.3 La démarche globale d'aide à la décision	57
I.4 DEFINITION DU DOMAINE D'APPLICATION	58
I.5 DEFINITION D'UN SYSTEME	58
I.5.1 <i>Système de production agricole</i>	59
I.5.2 <i>Eléments du système de production végétale</i>	62
I.5.3 <i>Le caractère biologique et la solution mécanique</i>	63
II. OPERATION DE RECOLTE	68
II.1 FONCTIONNEMENT GENERAL DE LA MOISSONNEUSE BATTEUSE	68
II.2 THEORIE DE LA MOISSON (PREPARATION AU BATTAGE)	69
II.2.1 <i>Composition standard du tablier de coupe.</i>	70
II.3 PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT	72

II.3.1	Cinématique du rabatteur :	72
III.	LES PERTES EN GRAINS	77
III.1	CLASSIFICATION DES PERTES EN GRAIN	77
III.2	LES PERTES AU TABLIER DE COUPE	78
III.3	LA VERSE DES CULTURES	79
	CONCLUSION	82
	DEUXIEME PARTIE : CONCEPTION	85
	INTRODUCTION	86
I.	DEFINITION ET STRUCTURATION DU PROBLEME	86
I.1	LES PERTES DE GRAIN A LA COUPE (LOCALISATION DES NIVEAUX)	86
I.2	CONDITIONS OUTPUTS INVALIDES	89
I.2.1	Quelle sont les cas des pertes non autorisées ?	89
I.2.2	Le problème du niveau 3	90
II.	RESOLUTION DU PROBLEME	91
II.1	REPRESENTATION SYNOPTIQUE DU SYSTEME	91
II.2	PREMIERE REPRESENTATION DU SYSTEME EN ACTION	92
II.3	LA PROJECTION DES LATTES ET LE CONTACT PREVU AVEC LA TIGE	93
III.	PROJECTION ET ELABORATION DU MECANISME	94
III.1	ETUDE DES MOUVEMENTS : CONCEPTION ET DIMENSIONNEMENT DES PIECES	94
III.1.1	Rotation du rabatteur	95
III.1.2	La translation des lattes	97
III.1.2.1	L'actionneur	98
III.1.2.2	Le support de l'actionneur	98
III.1.2.3	Architecture des disques à support intégré	99
III.1.3	Nouvelle forme de liaison du disque - actionneur	100
III.1.4	La nouvelle configuration du rabatteur	102
III.1.4.1	Les disques	103
III.1.4.2	L'arbre du rabatteur	104
III.1.4.3	Les lattes	105
III.1.5	Assemblage du rabatteur	105
III.1.5.1	Sous assemblage 1	106
III.1.5.2	Sous assemblage 2	107
III.1.5.3	Sous assemblage 3	108
III.2	LES MECANISMES DES MOUVEMENTS	109
III.2.1	Animation du rabatteur :	109
III.2.2	Animation des lattes :	109
III.2.2.1	Les mécanismes de la translation des lattes	109
III.2.2.1.1	Une voie hydraulique, inaccessible	110
III.2.2.1.2	Une voie électromagnétique, coûteuse	110
III.2.2.1.3	Une voie purement mécanique accessible et peu coûteuse	111
III.2.2.2	Principe à came	111
III.2.2.3	La solution finale	113
III.2.2.3.1	Le dispositif de guidage	113
III.2.2.3.2	Le suiveur	114
	CONCLUSION	115
	CONCLUSION GENERALE	117
	REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE	119

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Outils de récolte utilisés par les anciennes civilisations. (MILLER M. F., 1902).....	8
Figure 2 : la description de La moissonneuse Gauloise d'après PLINY (MILLER M. F., 1902).....	8
Figure 3 : Système de coupe Gaulois & Romain (BARRAL J.A., 1879).....	9
Figure 4 : la moissonneuse de Gladstone 1806 (ANONYME, 1900).....	10
Figure 5 : système de coupe de Gladstone (BARRAL J.A., 1879).....	10
Figure 6 : la moissonneuse de Mr Salmon 1808 (ANONYME, 1900).....	11
Figure 7 : système de coupe de Salmon (BARRAL J.A., 1879).....	11
Figure 8 : le modèle proposé par Smith en 1814 (MILLER M. F., 1902).....	12
Figure 9 : système de coupe de Gladstone (BARRAL J.A., 1879).....	12
Figure 10 : le modèle de Mr Henry Ogle 1822 (ANONYME, 1900).....	13
Figure 11 : vue de haut du modèle de H. Ogle (MILLER M. F., 1902).....	13
Figure 12 : système de coupe chez Ogle (BARRAL J.A., 1879).....	14
Figure 13 : le modèle proposé par P. Bell 1826, selon MILLER M. F., (1902).....	14
Figure 14 : Le modèle proposé par P. Bell, selon ANONYME, (1900).....	15
Figure 15 : système de coupe de P. Bell selon BARRAL J.A., 1879.....	15
Figure 16 : la première forme de la machine de O. Hussey (MILLER M. F., 1902).....	17
Figure 17 : Diagramme donné par Hussey dans le brevet de 1833 (GREENO F. L., 1912).....	17
Figure 18: la moissonneuse d' O. Hussey améliorée, entre 1845 et 1855 (ANONYME, 1900).....	18
Figure 19: la première barre de coupe de Hussey (1833) (MILLER M. F., 1902).....	18
Figure 20: la première barre de coupe de Hussey (1833) (MILLER M. F., 1902).....	19
Figure 21: la moissonneuse de C.H. McCormick 1834 (selon MILLER M. F., 1902).....	19
Figure 22: la moissonneuse de CH McCormick 1834 (selon ANONYME, 1900).....	20
Figure 23: le premier système de coupe de McCormick, 1834 (MILLER M. F., 1902).....	20
Figure 24: l'amélioration du système de coupe McCormick (MILLER M. F., 1902).....	21
Figure 25: la moissonneuse lieuse de McCormick après perfectionnement (Anonyme 1a, 2008).....	21
Figure 26: Moissonneuse lieuse de McCormick (ANONYME, 1913).....	22
Figure 27: le modèle de A. Randall 1834 (ANONYME, 1900).....	22
Figure 28: système de coupe Randall 1835 (BARRAL J.A., 1879).....	23
Figure 29: la moissonneuse à râtelage automatique d' Aaron Palmer et S. G. Williams (1851) (ANONYME, 1900).....	23
Figure 30: la moissonneuse de Marsh entre 1850 et 1857 (ANONYME, 1900).....	24
Figure 31: la moissonneuse lieuse à ficelle Deering-Marsh 1579 (ANONYME, 1900).....	24
Figure 32: la récolteuse d'épis, de George Esterly 1844 (ANONYME, 1900).....	25
Figure 33: récolteuse d'épis HAINES, 1849. (MILLER M. F., 1902).....	25
Figure 34: la machine de J. Redley améliorée (CHUKSIN P., 2008).....	26
Figure 35: dépiquage des céréales en Algérie (Anonyme 2, 2008).....	27
Figure 36: dépiquage avec traîneau à dépiquer (Anonyme 3, 2008).....	28
Figure 37: face inférieure du traîneau à dépiquer (Anonyme 3, 2008).....	28
Figure 38: différents types de rouleaux à dépiquer (Anonyme 4, 2008).....	29
Figure 39: Rouleau à dépiquer tiré par la force animale. (Anonyme 5, 2008).....	29
Figure 40: vue de coté de la machine de A. MEIKLE 1785 (WILLICH A. F. M. 1802).....	31
Figure 41: vue de haut de la machine de A. MEIKLE 1785 (WILLICH A. F. M. 1802).....	32
Figure 42: système de battage dans la machine de A. MEIKLE 1785 (WILLICH A. F. M. 1802).....	32
Figure 43: Batteuse à manège (Anonyme 1b, 2008).....	34
Figure 44: Batteuse trépigneuse Egeley (Anonyme 1c, 2008).....	34
Figure 45: Batteuse Merlin (Anonyme 6d, 2008).....	35
Figure 46: le nouveau système de battage perfectionné et amélioré au USA fin du 19 ^e siècle (CONNER G. F., 1897).....	36
Figure 47: Système de battage CASE début du 20 ^e siècle (ANONYME ; 1904).....	37
Figure 48: schéma de la machine de H. Moore et J. Hascall [COIN LARRY L., (2007); MASSIE LARRY, (2008)].....	39
Figure 49 : la combine de H. Moore et J. Hascall [COIN LARRY L., (2007); MASSIE LARRY, (2008)].....	39
Figure 50: la combine de H. Moore et J. Hascall en action [COIN LARRY L., (2007); MASSIE LARRY, (2008)].....	40
Figure 51: une moissonneuse-batteuse fabriquée à la fin du 19 ^e siècle (MILLER M. F., 1902).....	40
Figure 52: Moissonneuse-batteuse lieuse Guillotin (modèle 1948) (Anonyme 1e, 2008).....	41
Figure 53: la moissonneuse batteuse IH 91 (CASE IH) des années 1959 (Anonyme 6, 2008).....	41
Figure 54 : des modèles « Sunshine » développés en Australie (Anonyme, 2007).....	42

Figure 55: Synthèse globale de l'évolution de la mécanisation de la récolte.....	47
Figure 56: cycle de vie d'un produit (Thomson-Csf, (1990) in GAUTIER R. (1995)).....	51
Figure 57: processus de résolution de problèmes (BONNARDEL, (1992)).	52
Figure 58: Les démarches « Cartésiennes » : linéaires, séquentielles	53
Figure 59: Les phases de la conception et la décomposition architecturale du produit.....	54
Figure 60: L'approche systémique s'intéresse au "quoi faire" plutôt qu'au "comment faire"	55
Figure 61: Organigramme d'un système à plusieurs niveaux	59
Figure 62: diagramme simplifié d'un système de production agricole.....	61
Figure 63: Représentation simplifiée d'un système de production végétale.....	62
Figure 64: détails de la plante	65
Figure 65: configuration de la plante prête a récolté.....	65
Figure 66: Coupe du nœud de blé tendre, KANAFOJSKI CZ. et al, (1972).....	66
Figure 67: les fonctions de la moissonneuse batteuse moderne.	69
Figure 68: composants standards d'un tablier de coupe	71
Figure 69: Tablier de coupe à coupe basse	71
Figure 70: rabatteur à quatre (04) lattes et rabatteur à six (06) lattes	72
Figure 71: Positionnement du rabatteur.....	73
Figure 72: la cinématique du rabatteur (illustration donnée par KANAFOJSKI CZ. et al, (1972)).	73
Figure 73: Paramètres de position d'une latte (KANAFOJSKI CZ. et al, (1972)).....	75
Figure 74: Ensemble des pertes en grains dans la moissonneuse batteuse.	77
Figure 75: cycle biologique de blé (Anonyme 9, 2008).....	79
Figure 76: les cas d'une verse de tiges.....	80
Figure 77: une verse racinaire de l'orge d'hiver (BERRY P. M. & al, (2004)).....	80
Figure 78: conditions inputs valides pour un fonctionnement normal.....	86
Figure 79: opération de moissonnage, adaptation et contact.....	87
Figure 80: Formation de la cycliode et positionnement des lattes	88
Figure 81 : input invalide du niveau 1 et 3.....	89
Figure 82: schéma synoptique du fonctionnement du nouveau mécanisme.....	91
Figure 83: des lattes détachables pour établir le contact avec la plante.....	91
Figure 84: projection des lattes fait augmenter la surface de balayage.....	92
Figure 85: des points d'intersections (contact) sont possibles.	93
Figure 86: Rotation et translation, une courbe tracée en harmonie avec l'évolution globale du système.	94
Figure 87: Intersection entre les zones, une progression simultanée de la projection.....	95
Figure 88: configuration d'un rabatteur ordinaire.....	95
Figure 89: les disques comportent des rainures.	96
Figure 90: les lattes ne font plus une partie intégrale des disques	97
Figure 91: translation d'un corps solide	97
Figure 92: aspect et dimensions de l'actionneur	98
Figure 93: l'actionneur coulisse dans un support indépendant. (1ère configuration).....	99
Figure 94: vue générale de la nouvelle configuration des disques.....	99
Figure 95: relation entre les principaux paramètres de la projection.....	100
Figure 96: assemblage actionneur disque	101
Figure 97: Positions extrêmes de l'actionneur.....	102
Figure 98: Forme générale de l'un des disques latéraux.	103
Figure 99: les dimensions des disques.....	103
Figure 100: les dimensions des disques.....	104
Figure 101: les dimensions des cylindres	104
Figure 102: les lattes de rabatteur.....	105
Figure 103: sous assemblage 1, disques – cylindres.	106
Figure 104 : relations entre les dimensions (sous assemblage 1).....	106
Figure 105: vue de face du sous assemblage 2.....	107
Figure 106: vue en coupe du sous assemblage 2	107
Figure 107: vue générale du rabatteur (sous assemblage 2).....	108
Figure 108: sous assemblage 3 : lattes –actionneurs	108
Figure 109: principaux cycles des came.....	112
Figure 110 : vue isométrique de la pièce de guidage	113
Figure 111: vue de face de la pièce de guidage.....	113
Figure 112: correspondance aux zones d'activités.....	114
Figure 113: transformation de la rotation en translation.....	114
Figure 114: vue isométrique de l'assemblage rabatteur/pièces de guidages	115

LISTE DES SIGLES ET ACRONYMES

- AFSCET** : Association Française de Science des Systèmes.
- AFNOR** : Association Française de Normalisation
- AQAP** : Allied Quality Assurance Publication
- CFE** : Composante à fonction élémentaire
- D.H.C.** : Deering Harvester Company
- FAO** : Food and Agriculture Organization
- I.H.C.** : International Harvester Company
- IDA** : Institute for Defense Analyses
- INSA** : Institut National des Sciences Appliquées.
- PGRs** : Plant Growth Regulators : régulateurs de croissance des plantes
- PSC** : Problème par Satisfaction de Contraintes
- S/Sys** : Sous système

INTRODUCTION GENERALE

Le développement de l'agriculture sous ses deux aspects « production végétale et production animale » est lié aux avancées scientifiques pluridisciplinaires et aux progrès technologiques acquis durant des siècles, ceci pour répondre à un besoin crucial : la nutrition humaine ; tout en gardant l'oeil ouvert sur les débats thématiques enchaînés sur les nouvelles sources de vie, la protection de la nature, l'économie de marché, l'énergie et l'épuisement des ressources non renouvelables.

Les différentes opérations nécessaires à la production agricole sont aujourd'hui de plus en plus souvent réalisées à l'aide de machines. La mécanisation agricole n'est qu'un cas particulier du phénomène général de la mécanisation des activités humaines. Ce phénomène contribue potentiellement à l'essor de la production agricole.

De la mise en place de la culture jusqu'à la récolte, encore même dans les chaînes de conditionnement et de stockage, les circuits de commercialisation jusqu'à la consommation, la mécanisation ou l'utilisation d'outils ou bien de la machine, intervient d'une façon intégrale parfois inévitable à chaque niveau de l'enchaînement de ces événements.

La récolte est l'une des plus importantes opérations du système de production agricole ; la mécanisation de cette opération a été un tournant dans l'histoire de l'évolution de l'agriculture, marquée par une extension considérable de la surface cultivée, par la réduction de l'effort humain fourni et le nombre des phases exécutées. La mécanisation totale de la moisson et le battage des céréales (la culture la plus importante dans l'histoire humaine) a conduit, systématiquement, l'agriculture vers une modernisation totale. (USA, AUS & EU).

Une bonne préparation du sol, un bon choix du matériel végétal, un bon semis, un bon suivi et entretien continu de la culture et son état durant tout le cycle biologique, sont tous des indices d'un bon rendement prévu, mais une bonne récolte est le synonyme de la réussite de la campagne agricole ; la réussite de cette même opération est jugée par le taux de récupération, qui est le rapport entre la production estimée et celle réellement récupérée à la récolte, en d'autre terme le taux de perte à la récolte juge la réussite de la campagne agricole.

Une récolte bien organisée et bien menée permet d'engranger toute la production et limiter au maximum les pertes des grains au champ, durant le transport et sur les lieux de stockage ; l'organisation des chantiers de récolte et l'utilisation optimale du matériel adéquat sont des atouts majeurs dans la réussite de cette opération. **KACI F. (2007).**

Les pertes à la récolte sont un grand souci pour l'agriculture. Elles résultent d'un problème d'interaction entre la machine et la plante ; identifier la nature et les origines des pertes à la

récolte et localiser leurs niveaux, permettent d'identifier d'une part, ce problème d'interaction et d'autre part le rôle de chacun de ces deux éléments, ce qui conduit finalement à connaître les causes des pertes dues à la machine et à la plante.

Les pertes à la récolte sont fonction avant tout de l'état de la culture qui regroupe l'ensemble des caractéristiques et des paramètres relatifs au caractère biologique et à l'itinéraire cultural suivi pour la mise en place de la culture.

La répartition spatiale des plantes sur la parcelle est l'un des paramètres qui définit l'état de la culture. La répartition spatiale prend en considération les aspects géométriques de la culture à savoir : la hauteur de la plante, distances entre plantes, angle d'inclinaison et orientation des tiges.

Quel est le rapport entre cette répartition spatiale et le problème de perte à la récolte mécanisée ?

La verse des cultures, est l'un des états particuliers de la culture qui engendre des pertes de grande ampleur ; la verse se traduit par une variation de la répartition spatiale de la culture et précisément de l'angle d'inclinaison des tiges (causée par des facteurs physique et pathologique); dans l'état normal de la culture, les tiges des plantes sont verticales ; les paramètres de réglages nécessaires sur la machine à savoir la hauteur de coupe et la position du rabatteur sont fonction de ce paramètre pour que les contacts nécessaires soient établis.

Ces contacts concernent d'une part le rabatteur et la plante et d'autre part le système de coupe et la plante. Quand les conditions de ces contacts sont réunies (tiges dressées ou verticales et réglages adéquats de la machines) la moisson se déroule correctement. Quand ces conditions ne sont pas réunies malgré tous les réglages possibles que permet la conception de la machine, il y a anomalie ce qui induit automatiquement des pertes en grains. Ainsi la machine montre ses limites de fonctionnalité dans la mesure où la configuration actuelle du tablier de coupe ne convient pas au-delà de certaines valeurs d'inclinaison des tiges.

L'objectif de notre travail vise particulièrement la reconfiguration du tablier de coupe relativement à ce nouveau paramètre qui est l'angle d'inclinaison des tiges ce qui nous permettra d'élargir sa plage de fonctionnement et de recouvrir l'état de verse et donc rétablir le contact plante-machine ; à l'origine les concepteurs estiment que les tiges se présentent toujours de façon verticale. Pour ce faire, nous avons procédé à une étude d'un nouveau mécanisme capable de soulever les tiges et de les amener à la coupe.

Notre travail s'articule autour de trois points précis qui sont :

- Le premier point retrace l'évolution des différents mécanismes et concepts utilisés dans la récolte des céréales.
- Le deuxième point regroupe l'ensemble de connaissances relatives à la conception et à la méthodologie de résolution de ce genre de problème.
- Le troisième point concerne la résolution du problème posé à savoir l'interaction plante-machine en appliquant les connaissances acquises pour l'étude de conception d'un mécanisme adapté.

**PREMIERE PARTIE : ETUDE
BIBLIOGRAPHIQUE**

INTRODUCTION

La forte demande en aliments et leurs dérivés par population en croissance galopante, impose continuellement la recherche des solutions permanentes pour augmenter la production agricole (végétale ou animale); néanmoins, ce sont la quantité et le maintien de la qualité de la production qui déterminent l'échelle de cette augmentation.

Autre fois, l'agriculture était une agriculture de subsistance, l'homme exploitait des petites parcelles pour se nourrir, les pratiques et les moyens étaient primitifs, mais la conduite s'améliore d'une époque à l'autre en enrichissant le savoir par un cumul d'expériences et un paquet d'outils, qui sont l'origine d'une extraordinaire révolution qu'on voit dans l'agriculture d'aujourd'hui.

Dans les premiers temps de l'évolution de la mécanisation de la récolte, les premiers dispositifs conçus répondaient à une question globale : « *comment récupérer les grains par une voie mécanique ?* », de cette question dérivait d'autres questions : « *quel est le mécanisme qui permet de réaliser la moisson et le battage ?* », « *quel est la machine destinée à faire la moisson et le battage ?* », « *quel est le mécanisme le plus efficace qui engendre le minimum de pertes à la récolte ?* » ; la réponse à toutes ces questions est la moissonneuse-batteuse, le fruit d'une longue série de travaux et d'expériences , d'apport d'améliorations et de perfectionnements sur la solution mécanique, définie par le concept de la moisson et celui du battage, ces travaux sont menés par plusieurs générations de concepteurs de différentes civilisations et nationalités et ceci pendant plusieurs siècles

Afin d'aborder de notre travail et de se situer au bons niveaux d'interventions, cette partie bibliographique est consacrée à collecter et à étudier les différents éléments qui constituent notre problématique et faire ressortir les principaux aspects qui schématisent les solutions fonctionnelles, et en suite, concevoir le mécanisme et l'adapter d'une façon polyvalente et intégrale.

Cette partie est répartie sur deux chapitres :

- **Les moissonneuse batteuses, évolution d'un concept** : retrace les grande lignes de l'évolution des moyens et des mécanismes utilisés dans la récolte.
- **Connaissances fondamentales pour la conception** : collection acheminée du savoir nécessaire pour prendre les décisions pour concevoir notre mécanisme.

Chapitre I : Les Moissonneuses Batteuses
Evolution d'un concept

INTRODUCTION

Les différentes opérations nécessaires à la production agricole sont aujourd'hui de plus en plus souvent réalisées à l'aide de machines, et les problèmes techniques afférents à ces opérations sont, avec plus ou moins de réussite, progressivement résolus. Le caractère biologique de cette production représente certes un obstacle considérable à une mécanisation totale, mais les plus importantes difficultés proviennent en réalité des contraintes économiques et sociales.

La mécanisation agricole n'est qu'un cas particulier du phénomène général de la mécanisation des activités humaines. À la fin du XIXe et au début du XXe siècle, la plupart des opérations simples de l'agriculture se mécanisèrent et se motorisèrent pendant que se perfectionnaient les machines antérieurement conçues pour le travail du sol, les semis et les plantations, l'épandage des engrais et des produits de traitement, la récolte des céréales, des fourrages, des plantes industrielles, la traite mécanique, le nettoyage des étables. (**Anonyme, 2007**).

L'évolution technologique

La moissonneuse batteuse est le fruit de la fusion de deux concepts : la moisson (le moissonnage) et le battage ; obtenir des grains de céréales consistait à faire séparément ces deux opérations le moissonnage et le battage. L'évolution de ces concepts se faisait en même temps, mais les outils et les techniques mis en œuvre n'étaient pas de la même occurrence de part et d'autre. Le battage était trop compliqué par rapport à la moisson. Mais ce qui a bouleversé l'évolution des deux concepts était la moisson.

La moisson consiste à couper les plantes, les tiges plus les épis ou bien seulement les épis, cette coupe était manuelle, puis par des outils de coupe, les tiges en générale sont groupées en gerbes ou en andains puis présentées au battage. (Cette partie sera détaillée par la suite)

Le battage consiste à séparer les grains de la plante (tiges+épis) par plusieurs méthodes, mais le principe était le même, c'est d'exercer une force (pression) sur l'épi afin de libérer les grains (caryopse) enveloppés par des parois épaisses ouvrables (Blé) ou bien attachées seulement au rachis (Orge). Cette séparation comprend aussi la notion du nettoyage.

I. EVOLUTION TECHNOLOGIQUE DE LA MOISSON

Les outils primitifs de récolte des grains, existaient déjà avant 2000 av. J.C, la faucille est fabriquée à partir d'une pièce coulée en bronze, parfois avec un manche en bois puis en fer (900 av. J.C.) ; chez les égyptiens on note la présence de la *faux*, les *crochets* et autres outils primitifs. (Figure 1).

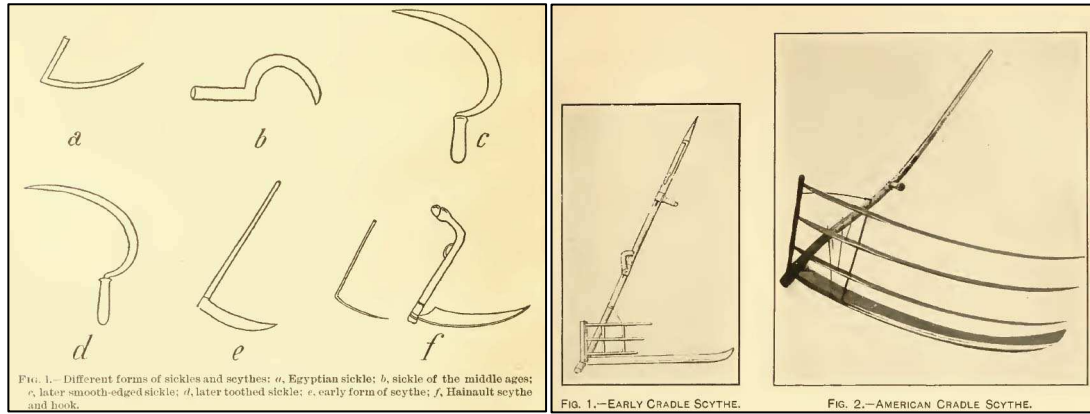


Figure 1 : Outils de récolte utilisés par les anciennes civilisations. (MILLER M. F., 1902)

Chez les Romains et les Grecs, on parle des principes de coupe et l'outil approprié, couper la plante plus bas par la faux, au milieu ou bien avoir seulement l'épi par une faucille. Ces outils n'ont pas été changés pour long temps, vu leur efficacité, mais perfectionnés avec le temps.

La première mention dans l'histoire d'une moissonneuse (Figure 2) est celle décrite par PLINY au premier siècle (1 Ap J.C), utilisée par les Gaulois, une trémie montée sur deux roues poussée par un animal.



Figure 2 : la description de La moissonneuse Gauloise d'après PLINY (MILLER M. F., 1902)

Sur la bordure de l'avant de cette trémie sont fixées des dents (Figure 3) qui servaient à arracher les épis des céréales.

Les Paladins ont donné aussi la même description avec un détail important c'est que la hauteur des dents est variable et qu'elle préfère les sols plats.

Cette moissonneuse a été oubliée (**MILLER M. F. (1902), SWIFT R. B. (1897), Anonyme (1900) ; & all..**).

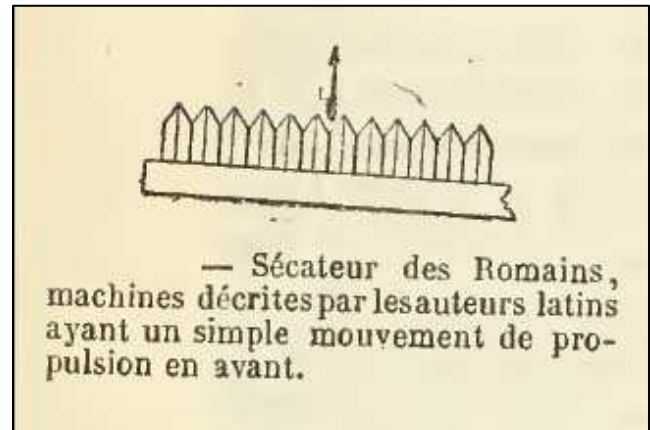


Figure 3 : Système de coupe Gaulois & Romain (BARRAL J.A., 1879)

Les travaux sur la moissonneuse réapparaissent à partir du 18ème siècle, c'est le début de l'ère des grandes inventions. Les premiers ont été les Anglais et les Ecossais et par la suite les Américains.

I.1 Les travaux Anglais et Ecossais

Aux environ de **1780**, **CAPEL LOTTF**, a proposé de faire une moissonneuse pour effectuer les travaux de récolte, cette machine n'a pas été conçue, mais il a reçu une récompense de mérite en **1785** et est considéré comme l'inventeur de la moissonneuse.

Dans les années **1786** et **1787**, **WILLIAM PITT**, a construit une machine qui fonctionne sur le même principe que celle des **Gaulois** et celle de **CAPEL LOTT**, mais au lieu d'une ligne de dents fixes, un cylindre équipé de rangées de dents en peigne a été placé horizontalement sur la partie avant du cadre, les dents inclinées prennent les épis et les posent dans la trémie de la machine. L'animal a été bien sûr attaché derrière, ce qui est une méthode caractéristique de l'attelage des premières formes, pour ne pas piétiner la récolte. Aucun n'avait encore pensé à la coupe latérale.

JOSEPH BOYCE, de Londres, construit en **1799** la première machine brevetée au Royaume-Uni (Angleterre) ; un arbre vertical doté de lames, animé par transmission de mouvement des roues. Les principes de la faucheuse rotative et la faucheuse rectiligne alternative sont développés. (**MILLER M. F., 1902**).

A partir de **1800**, jusqu'à l'arrivée des modèles américains, la synthèse des modèles inventés au Royaume-Uni conduit à distinguer cinq (5) modèles principaux des *machines moissonneuses* (traduction de *Reaping Machines*) :

(1)- Le modèle de Mr GLADSTONE (1806) :

En **1806**, Mr. **Gladstone**, en Angleterre, ne se contenta pas seulement de couper les pailles et de les mettre en andain, mais il essaya de laisser la paille en javelles (andain discontinu), prêtes à être liées et mises hors du chemin de la coupe suivante. Aucune récolte, n'avait encore été coupée et délivrée de cette façon. (Figure 4)

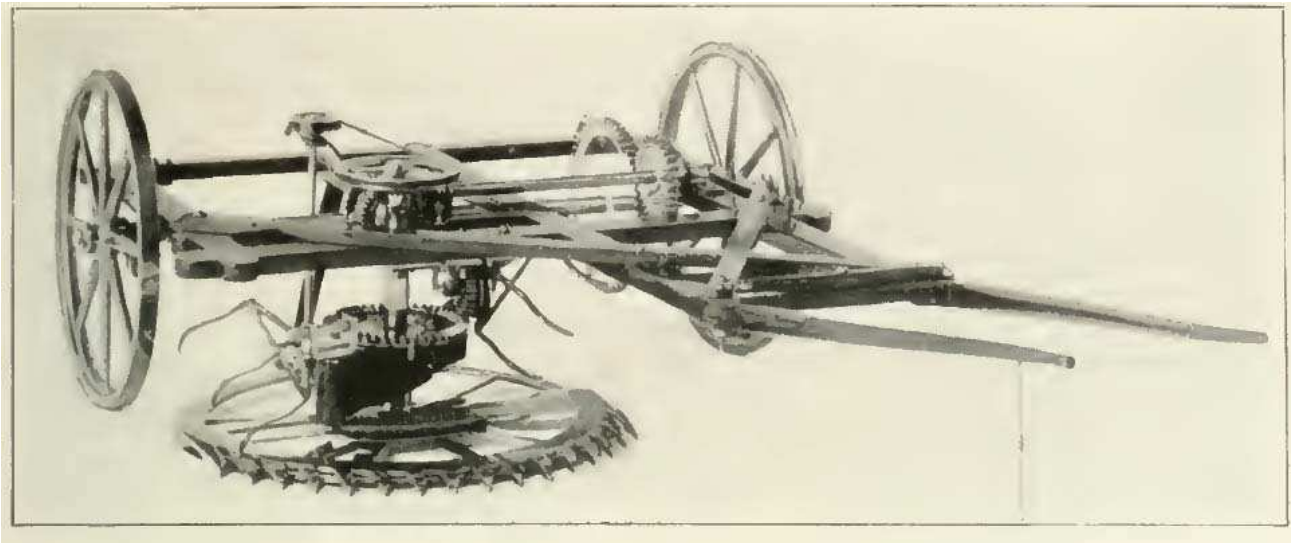


Figure 4 : la moissonneuse de Gladstone 1806 (ANONYME, 1900)

Dans cette machine l'appareil de coupe (Figure 5) était une roue ayant un rebord lisse. On la perfectionna plus tard et on employa des lames coupeuses, la récolte coupée était dirigée vers le chaume au moyen d'appareils de râtelage portés par le mécanisme qui donnait le mouvement au disque coupeur. On peut dire que cette machine a été le prédécesseur des moissonneuses à râtelage automatique. (ANONYME., 1900)

L'invention de **Gladstone** était ingénieuse, mais elle a échoué à cause de son fonctionnement compliqué. (MILLER M. F., 1902).



Figure 5 : système de coupe de Gladstone (BARRAL J.A., 1879)

(2)- le modèle de Mr SALMON (1808) :

En **1808**, une moissonneuse (Figure 6) fut produite en Angleterre par Mr. **SALMON**. La machine coupait en andain étroit et semble être conçue pour être poussée à la main. La partie latérale basse gauche est prolongée un peu en avant du niveau de coupe. Cette partie est mentionnée dans la description (**ANONYME, 1900**) : « comme une barre prolongée qui sépare les tiges sur pied de celle coupées », (c'est le **Diviseur**).



Figure 6 : la moissonneuse de Mr Salmon 1808 (**ANONYME, 1900**)

Le système de coupe (Figure 7) était mis en mouvement par une manivelle, ayant sur son arbre une roue avec un contrepoids pour fournir le mouvement nécessaire (alternatif) à la coupe.

La paille tombe sur une **plate forme de réception**.

Un système de râtelage automatique fut adopté, exécutant un mouvement orbitaire sur la plateforme de réception et délivrant la paille coupée en javelles prêtes à être liées (**andain discontinu**)

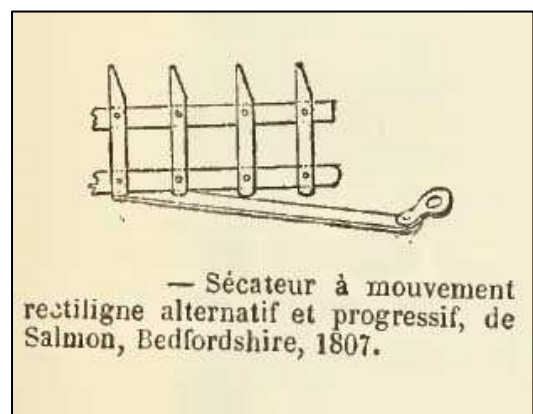


Figure 7 : système de coupe de Salmon (**BARRAL J.A., 1879**).

(3)- le modèle de Mr SMITH (1811) :

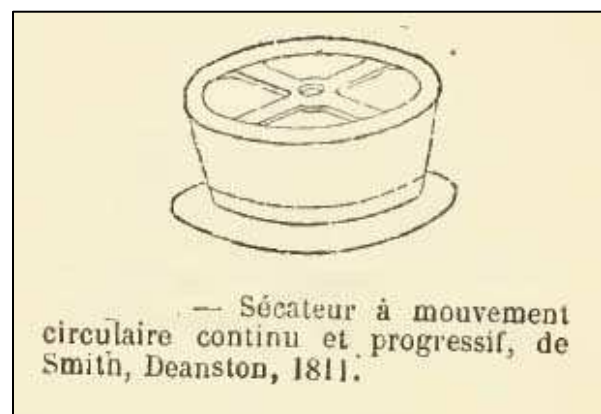
En 1811, Mr SMITH a construit une moissonneuse (améliorée en 1814, considérée aussi comme une faucheuse), dans cette machine un tambour conique servait de dispositif de coupe, la partie inférieure était équipée par des lames tranchantes, la rotation était assurée par le transfert du mouvement des roues motrices, par un système d'engrenage. (Figure 8 et 9.)



FIG. 1.—SMITH'S REAPING MACHINE (1814).

Figure 8 : le modèle proposé par Smith en 1814 (MILLER M. F., 1902)

Selon MILLER M. F., 1902 : « Deux petites roues sous le tambour gardaient les lames à une distance appropriée par rapport au sol, et un dispositif a été ajouté par lequel cette distance peut être augmentée ou diminuée » (système de réglage de la **hauteur de coupe**) «... Il a suivi l'ancien régime d'avoir des chevaux attelés derrière la machine La paille coupée est projetée latéralement en andain ». Selon ANONYME (1900), la capacité de coupe de cette machine était : 1 acre par heure (0.40 ha/heure).



— Sécateur à mouvement circulaire continu et progressif, de Smith, Deanston, 1811.

Figure 9 : système de coupe de Gladstone (BARRAL J.A., 1879)

(4)- le modèle de Mr. HENRY OGLE 1822 :

En 1822, HENRY OGLE, proposa une moissonneuse à coupe latérale ; à cette époque, cette machine (Figure 10 et 11) n'a pas été populaire, mais elle comprenait des éléments et des principes qui vont devenir par la suite une référence, cette machine était comme MILLER M. F. (1902) le mentionna : « ..Cela ressemblait à une charrette avec des roues et des arbres, le cheval marchant devant, ... l'appareil de coupe s'allonge latéralement vers le côté droit. Ce sécateur se composait d'un cadre de fer armé avec des rangées de dents de 03 pouces projetées vers l'avant... Il y avait une bobine ressemblant à la forme moderne, qui pousse le grain en arrière sur une plate-forme située derrière la barre de coupe. La paille pouvait être ratissée en javelles ». (**Bobine= rabatteur**)

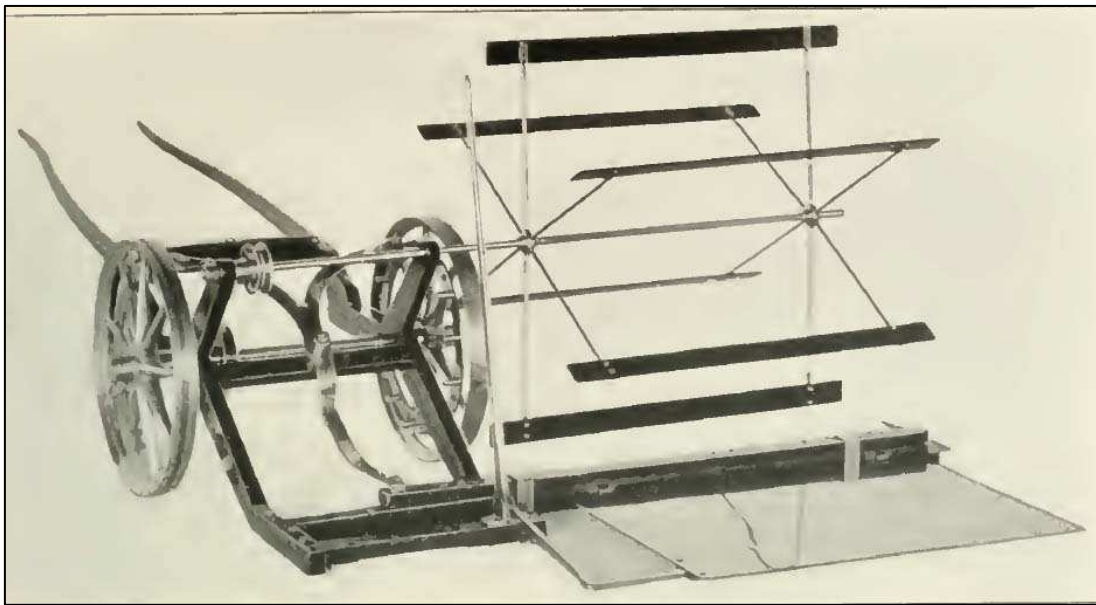


Figure 10 : le modèle de Mr Henry Ogle 1822 (ANONYME, 1900)

Dans cette machine on note :

- La présence d'un **rabatteur**
- Une **lame de coupe** placée sur une **Plateforme latérale horizontale**;
- l'animal **tire** la machine

L'exclusif dans cette moissonneuse était le rabatteur porté sur axe tournant, le transfert de mouvement des roues motrices à cet axe était assuré par courroie.

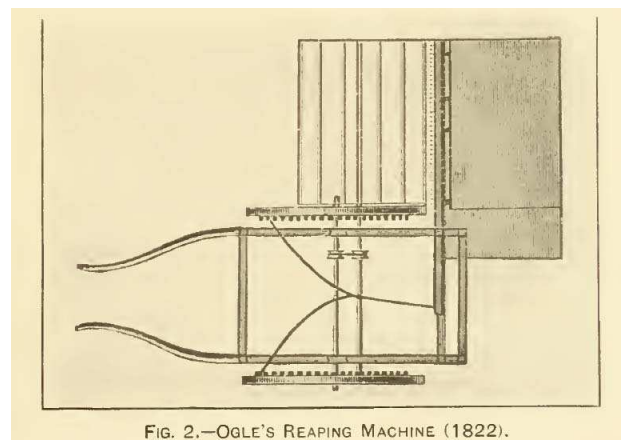


FIG. 2.—OGLE'S REAPING MACHINE (1822).

Figure 11 : vue de haut du modèle de H. Ogle (MILLER M. F., 1902)

Le système de coupe (Figure 12) était une barre en fer actionnée par un bras en oscillation ce qui a permis la coupe en mouvement alternatif rectiligne.

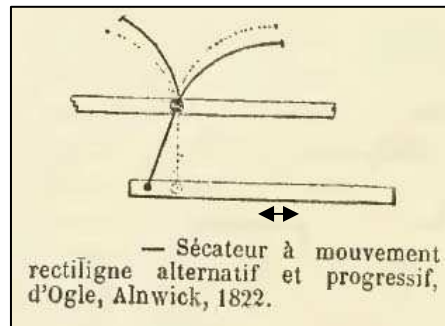


Figure 12 : système de coupe chez Ogle (BARRAL J.A., 1879)

La paille coupée tombe derrière la machine en andain, il fallait la maître hors chemin pour le prochain passage.

(5)- Le modèle de Mr. PATRICK BELL 1826 :

En 1826, **PATRICK BELL**, en Ecosse, inventa une machine à moissonner qui fut employée en 1827. Cette machine avait : un rabatteur (**OGLE**), un système de coupe, une table de réception à **tapis roulant** : nouvel apport dans l'art des moissonneuses.

La machine était poussée par les chevaux. La paille, rabattue et coupée, est transportée par le tapis (*conducteur sans fin*) puis mise en andain hors chemin (pour ne pas être piétinée), les deux sources bibliographiques (**ANONYME, 1900 & MILLER M. F., 1902**), montrent deux aspects pour cette machine. (Figure 13 et 14)

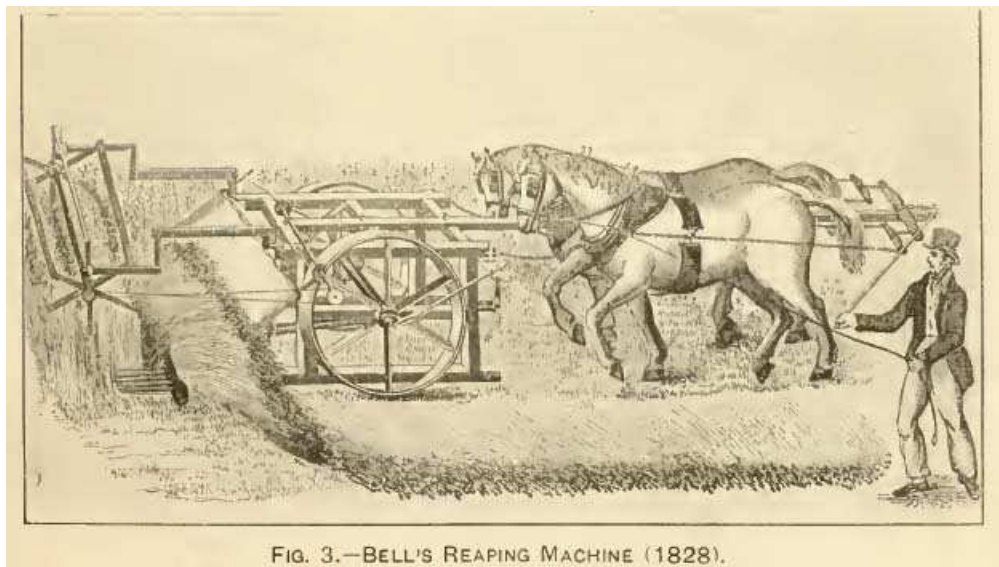


Figure 13 : le modèle proposé par P. Bell 1826, selon **MILLER M. F., (1902)**



Figure 14 : Le modèle proposé par P. Bell, selon ANONYME, (1900)

Le système de coupe en ciseaux (Figure 15), il n'y avait pas une explication claire sur le principe de fonctionnement du mécanisme de coupe, mais vu le schéma donné par **BARRAL J.A., 1879**, lorsque la récolte s'enfonce entre les lames, ces dernières tournent d'un quart de tour vers la droite, actionnées par la translation du bras principal vers la gauche,

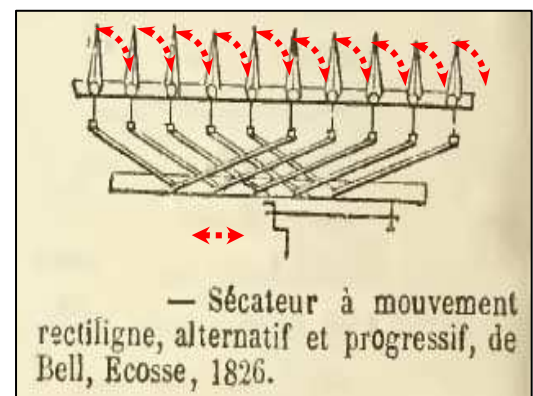


Figure 15 : système de coupe de P. Bell selon **BARRAL J.A., 1879**

Les cinq (05) modèles, Anglais et Ecosseis, ont été à la base de toutes machines de moissonnage qui vinrent après. (Rabatteur, systèmes de coupe rotatif et rectiligne, plateforme de réception à hauteur réglable, tapis roulant, principe de râtelage manuel, principe d'attelage, de coupe latérale ou de face et réception en andain continu et discontinu).

L'exposition internationale au *Crystal Palace* en **1851** était le point de changement avec l'introduction des modèles américains en Angleterre.

Les américains ont perfectionné et inventé des modèles de moissonneuse praticables et furent vendus partout dans le monde à cette époque (**MILLER M. F., 1902**).

I.2 Les travaux Américain

Au début du 18^e siècle, l'agriculture profite pleinement de l'innovation technique. De nombreuses tâches sont alors mécanisées : défrichage, labourage, ensemencement. *Seule l'étape de la moisson semble résister à la créativité des ingénieurs.*

A cette époque, plusieurs inventeurs essaient de mettre au point une moissonneuse mécanique, et malgré le dépôt de plusieurs brevets, aucune n'est suffisamment pratique et performante pour intéresser les agriculteurs.

Le rapport officiel de l'exposition de Paris en 1900, (sur le développement des instruments de récolte, rédigé par **D.H.C** (*Deering Harvester Company*)), divise le 19^e siècle en six époques :

- 1 - celle de la faucille et de la faux à râteau perfectionné;
- 2 - celle de la Moissonneuse à râtelage manuel, adaptée pour livrer la récolte en javelles ;
- 3 - celle de la Moissonneuse à râteau automatique, qui accomplissait la même chose;
- 4 - celle de la machine, sur laquelle la récolte était liée manuellement par des opérateurs assis sur la machine;
- 5 - celle de la lieuse automatique ;
- 6 - celle de la machine en acier.

La faux à râteau économisa la moitié de la main d'oeuvre, la moissonneuse la moitié de la main d'oeuvre restant; la lieuse à ficelle moderne économise presque la totalité.

Les travaux ont commencé dès les années 30, plusieurs inventeurs [**OBED HUSSEY** (brevet, USA 1833), **CYRUS HALL MCCORMICK** (brevet, USA 1834) et **ABRAHAM RANDALL** (brevet 1835 USA)] entament des expériences à la recherche d'une solution mécanique pour la moisson. La concurrence entre les deux premiers, **HUSSEY** et **MCCORMICK** était impitoyable et chacun se proclame d'être l'inventeur de la moissonneuse mécanique.

Comme chez les Anglais et les Ecossais, la mécanisation américaine de la moisson, avait la même tendance, couper la récolte et la mettre en andain ou carrément en javelles recevables pour le battage. Des systèmes de coupe ingénieux, des tabliers de coupe à plusieurs formes (plateforme de réception), l'utilisation du rabatteur ou seulement des système de râtelage (automatique ou manuel), attelage de traction ou bien de poussé.

A cette époque même, il y avait un développement d'un autre principe de coupe et de machine, ce sont les *récolteuses d'épi* qui ont joué un rôle dans la fusion entre la moisson et le battage. Mais le développement n'a pas été de la même envergure que celle des moissonneuses.

I.2.1 Les machines moissonneuses à coupe basse

(1)- La machine de Mr. OBED HUSSEY (1833)

Dans le rapport officiel de l'exposition de Paris en 1900, (sur le développement des instruments de récolte, rédigé par D.H.C (Deering Harvester Company)), il était mentionné que : « le 21 Décembre 1833 un brevet des Etats-Unis fut octroyé à **OBED HUSSEY** qui mérite probablement autant d'attention que toute invention dans cet art... ».

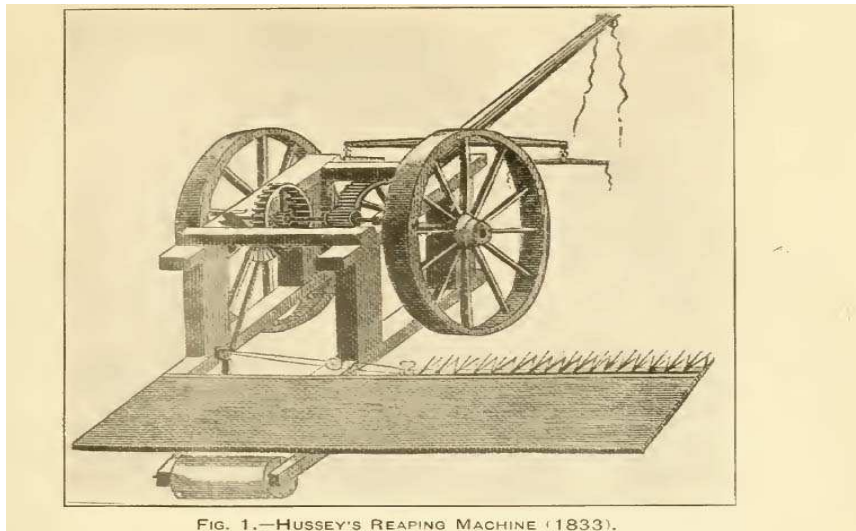


Figure 16 : la première forme de la machine de O. Hussey (MILLER M. F., 1902)

Cette machine (Figure 16 et 17) était adaptée pour opérer de la même façon que celle D'OGLE, mais elle avait une plateforme rigide sur la quelle la paille coupée pouvait s'accumuler et racler manuellement par l'opérateur en formant des javelles (**distribution manuelle**).

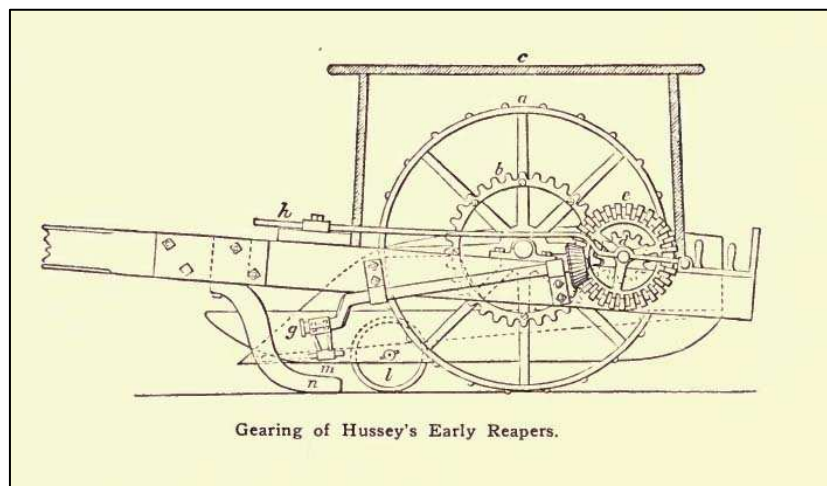


Figure 17 : Diagramme donné par Hussey dans le brevet de 1833 (GREENO F. L., 1912)

Elle avait (Figure 18) un diviseur et un système de coupe qui fonctionne sur le même principe que celui D'OGLE et SALMON, mais il a conçu son propre système et le perfectionna de telle façon qu'il est devenu une référence dans l'art de moissonner.

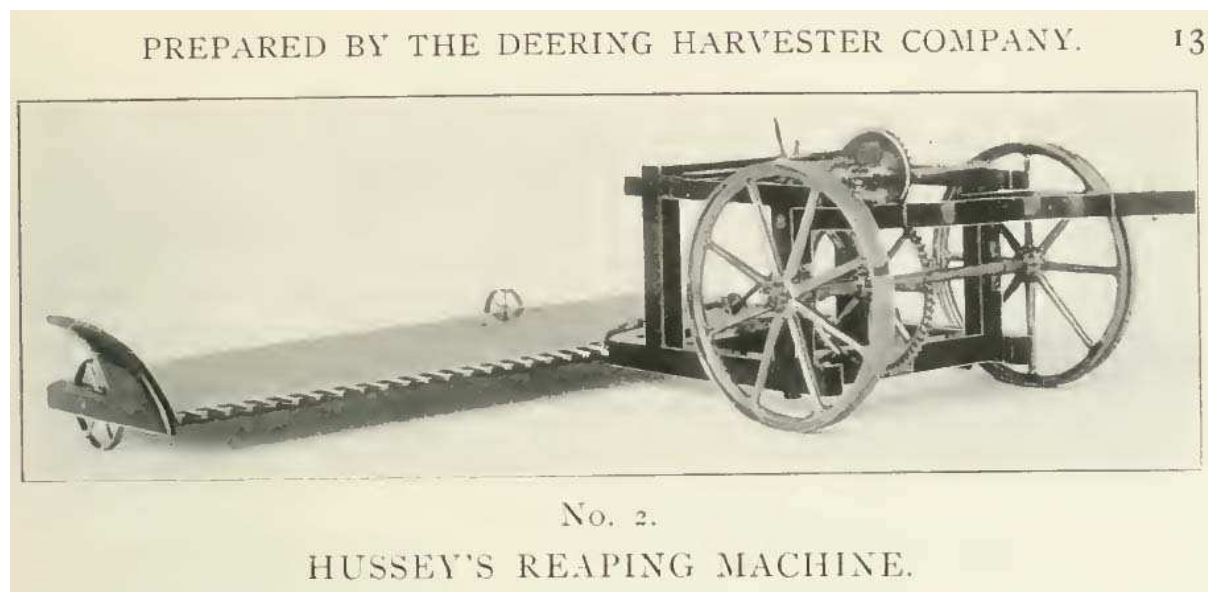


Figure 18: la moissonneuse d' O. Hussey améliorée, entre 1845 et 1855 (ANONYME, 1900)

Selon les sources :

- La plateforme était amovible, la machine peut devenir une faucheuse ;
- La hauteur de coupe était réglable ;
- Le rabatteur était pour **HUSSEY** sans efficacité, la machine fonctionnait bien ;
- Le râtelage était manuel par un simple râteau.

Le système de coupe HUSSEY :

Les doigts (Figure 19) sont formés d'une pièce supérieure et inférieure, jointe à la pointe et à la base, avec un espace constant d'environ un huitième de pouce (3 mm), formant une rainure. Ces doigts sont placés en rangé dont le premier doigt est placé à l'arrière de la roue de droite, les doigts intermédiaires sont placés à des distances égales les unes des autres, de plus ou moins 3 pouces (7.6cm) (GREENO F. L., 1912)

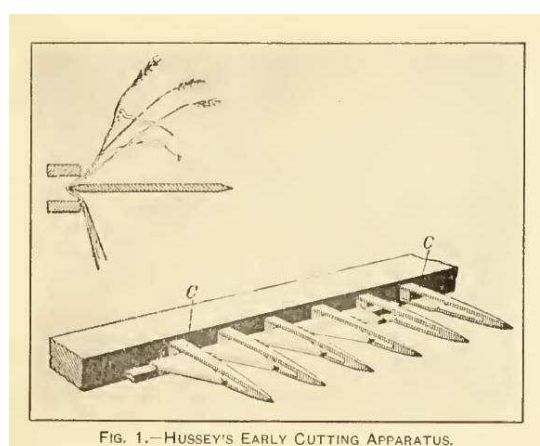


Figure 19: la première barre de coupe de Hussey (1833) (MILLER M. F., 1902)

Le dispositif de coupe est formé par des plaques métalliques triangulaires pointées, rangées et fixées sur une tringle droite en acier ou en bois, l'ensemble glisse dans les rainures des doigts, et animé par une manivelle actionnée par le transfert de mouvement des roues motrice.

Hussey continuait de perfectionner son système de coupe, la figure (Figure 20) montre celui de 1847, des modifications sur les doigts et la lames de coupe, le principe d'actionnement était le même. (GREENO F. L., 1912).

La machine fut fabriquée et commercialisée aux Etats-Unis et en Europe, en 1851 elle était présente dans l'exposition internationale au *Crystal Palace* et recevra le deuxième prix face à son concurrent C.H. McCormick Puis elle était fabriquée en Angleterre.

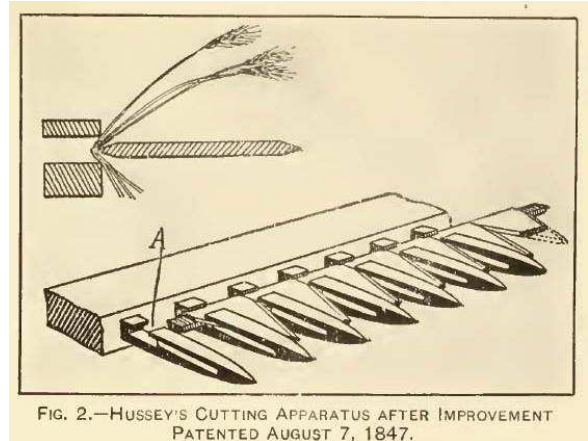


FIG. 2.—HUSSEY'S CUTTING APPARATUS AFTER IMPROVEMENT PATENTED AUGUST 7, 1847.

Figure 20: la première barre de coupe de Hussey (1833) (MILLER M. F., 1902)

(2)- Le modèle de C.H. McCormick 1833

Une histoire d'un génie. Le 31 juin 1834, un brevet des Etats-Unis fut octroyé à CYRUS. H. MCCORMICK de Rockbridge. Virginie, pour une moissonneuse à râtelage manuel. (Figure 21 et 22).

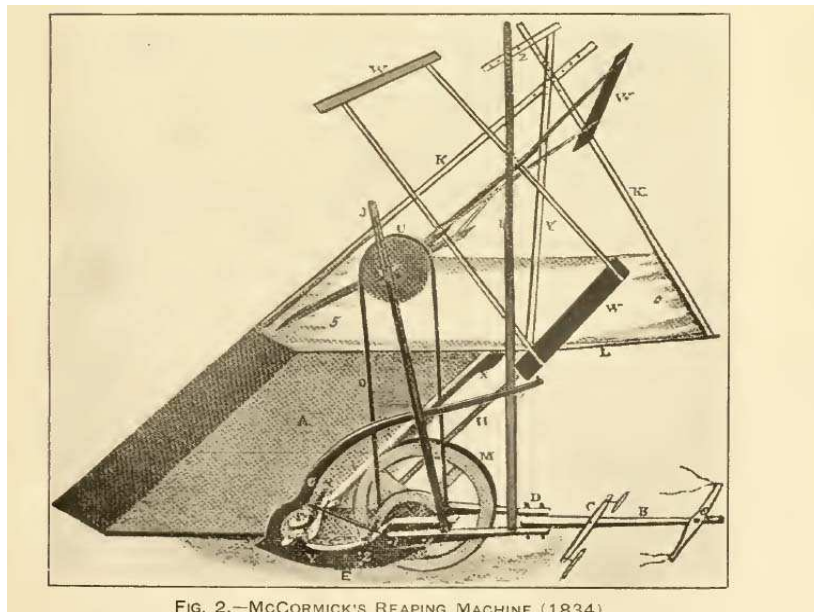


FIG. 2.—MCCORMICK'S REAPING MACHINE (1834).

Figure 21: la moissonneuse de C.H. McCormick 1834 (selon MILLER M. F., 1902)



Figure 22: la moissonneuse de CH McCormick 1834 (selon ANONYME, 1900)

Cette machine était l'invention de son père **Robert McCormick** en **1831**, il l'a amélioré pour donner un résultat pratique en **1834**. Cette machine comprend les principaux organes déjà trouvés dans les anciennes moissonneuses, un rabatteur, un diviseur, une plateforme de réception ainsi qu'un système de coupe propre à lui.

Le rabatteur n'est pas exactement comme celui **D'OGLE** et de **BELL**, ses **lattes** étaient inclinées d'un certain angle (Figure 22), et il était (rabatteur) porté sur deux appuis et animé par courroies.

Le bâti repose sur deux roues, une était motrice. La plateforme en coque reçoit la récolte, cette dernière est râtelée à chaque fois qu'une quantité suffisante est coupée et posée en javelles prêtes à être liées.

Le système de coupe :

Le premier système de coupe (Figure 23) était constitué des doigts en flèche (1) répartie régulièrement sur un support, la lame de coupe (2) était une scie portée par des supports rigides (3) au milieu et de part et d'autre.

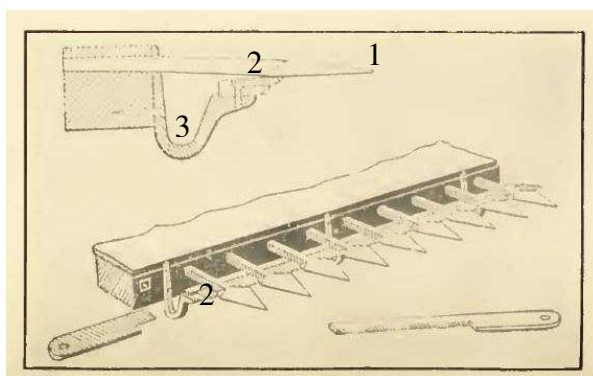


Figure 23: le premier système de coupe de McCormick, 1834 (MILLER M. F., 1902)

La scie est actionnée par une manivelle qui transmet le mouvement de la roue motrice.

La récolte était coupée et versée dans la plateforme de réception.

Le deuxième système (Figure 24), était une amélioration du précédent, il garda la scie et changea la forme des doigts, la scie glisse dans des rainures et supportée par des appuis isolés des doigts comme dans l'ancien système. (Figure 23)

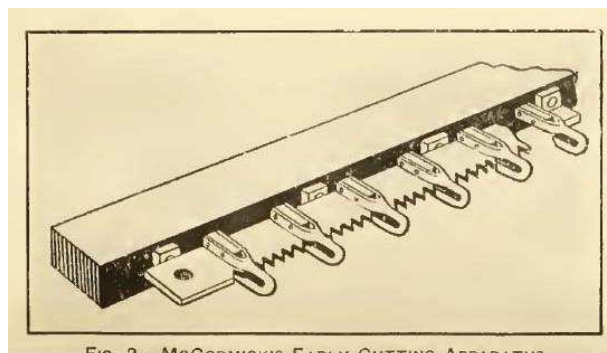


Figure 24: l'amélioration du système de coupe McCormick (MILLER M. F., 1902)

McCormick changea aussi par la suite, en **1847**, la forme de la scie en concevant un nouveau système adoptant le principe de **HUSSEY** (plaques triangulaires) ;

Ce qui a rendu **MCCORMICK** si populaire, est *la moissonneuse-lieuse* qu'il avait conçue en **1871**, c'était une machine très pratique à l'époque.



Figure 25: la moissonneuse lieuse de McCormick après perfectionnement (Anonyme1a, 2008)

D'une simple société familiale en **1848** « *McCormick Harvesting Machine Company* », elle devient en **1902** « *International Harvester Company* », un empire qui détient 90 % du marché des moissonneuses de l'époque. La moissonneuse-lieuse (*McCormick-Deering 7L*) (Figure 25) exclut définitivement toute manipulation manuelle du travail de moisson, cette machine était capable de couper et de lier la récolte en javelles proportionnelles, comme dans la figure (26).



Figure 26: Moissonneuse lieuse de McCormick (ANONYME, 1913)

(3)- Le modèle de Mr ABRAHAM RANDALL 1834

En 1833, **ABRAHAM RANDALL** (ou Rundell), de New York, a construit une machine (Figure 27) qui était proche de celle D’OGLE, avec des améliorations sur la structure, adaptée pour un râtelage manuel avec une place pour le conducteur. Le rabatteur est porté sur les deux coté, animé par courroie qui transmet le mouvement de la roue motrice, la machine repose sur 04 roues : deux motrice et les deux autres pour le support. La machine est tirée par la force animale.



Figure 27: le modèle de A. Randall 1834 (ANONYME, 1900)

Le système de coupe :

ABRAHAM RANDALL (ou Rundell), de New York, le 22 avril **1835**, a breveté un dispositif de coupe spécial (Figure 28), deux poutres en bois armées par des couteaux triangulaire pointus repartis uniformément, ces deux poutre glissent l'une sur l'autre. Un mouvement rectiligne alternatif est donné à chacune des ces poutres de manière inverse et par cisaillement la paille est coupé deux fois.

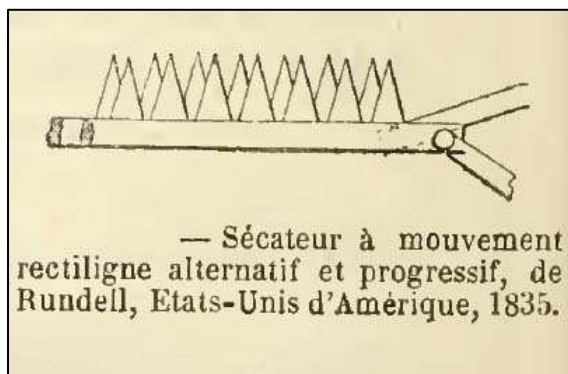


Figure 28: système de coupe Randall 1835
(BARRAL J.A., 1879)

(4)- Le models de Aaron Palmer et S. G. Williams1851 :

Le 4 Février **1851** un brevet fut accordé à **AARON PALMER** et **S. G. WILLIAMS** pour le perfectionnement des Moissonneuses. La forme de la plateforme de cette machine était en un **quart de cercle** .Elle est équipée d'un râteau automatique pour la balayer et décharger la récolte accumulée hors du chemin pour la coupe suivante. Les machines ainsi construites étaient équipées d'un appareil de coupe de type **HUSSEY** et d'un rabatteur. (Figure 29)

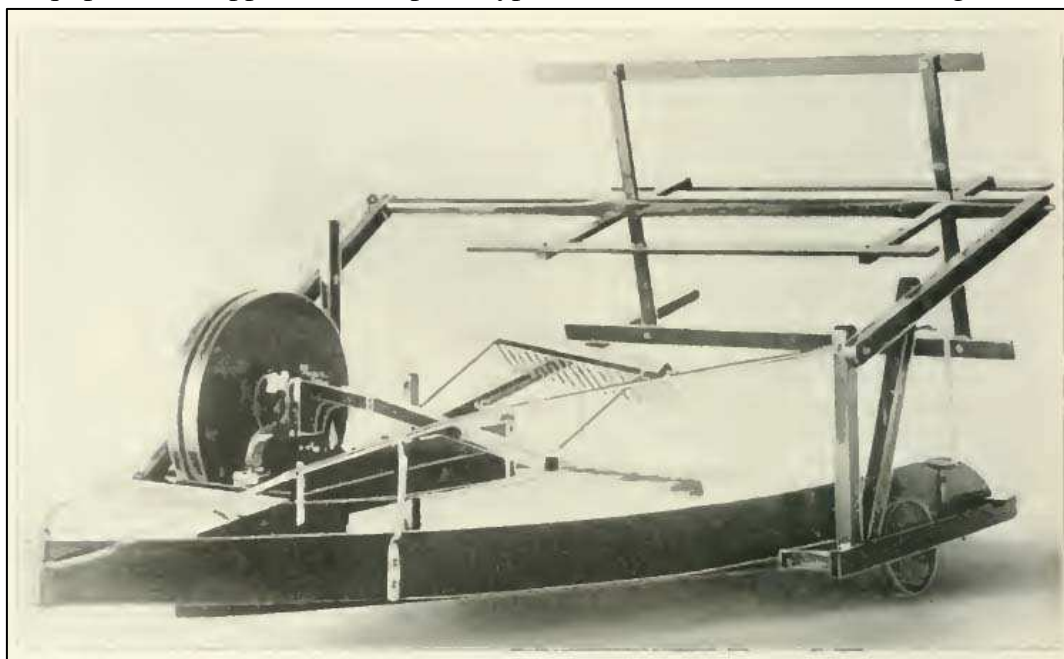


Figure 29: la moissonneuse à râtelage automatique d' Aaron Palmer et S. G. Williams (1851)
(ANONYME, 1900)

La plateforme de réception en un quart de cercle et le système de râtelage automatique étaient l'innovation dans cette moissonneuse.

(5)- Le modèle de Marsh 1858 :

Le 17 Août **1858** un brevet fut accordé à **CHARLES W.** et **WILLIAM W. MARSH** pour le perfectionnement des machines de récolte.

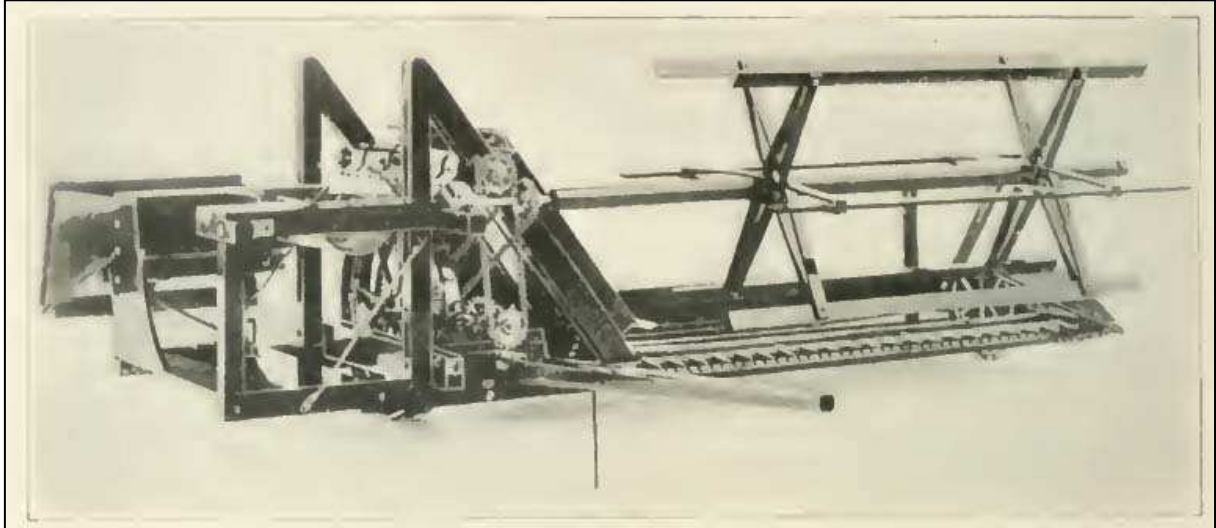


Figure 30: la moissonneuse de Marsh entre 1850 et 1857 (ANONYME, 1900)

Cette machine (Figure 30) était la base du **liage-surplace** de la récolte, **manuel** au début puis carrément **automatique** (Figure 31). On trouve le système de coupe de type Hussey et le rabatteur, ainsi qu'une plateforme menu d'un **tapis roulant horizontal** et un autre, **incliné**, qui joue le rôle d'un **convoyeur**. La récolte est transportée jusqu'à la table de liage. Au départ, un opérateur lie manuellement la paille (entre **1850** et **1857**), puis en **1858** les frères de Marsh ont installé un système de liage automatique (perfectionné en **1879**) après la fusion entre la société de Marsh et celle de **W. Deering**.

Le système de liage opérationnel était inventé par **APPLEBY** en **1858**.

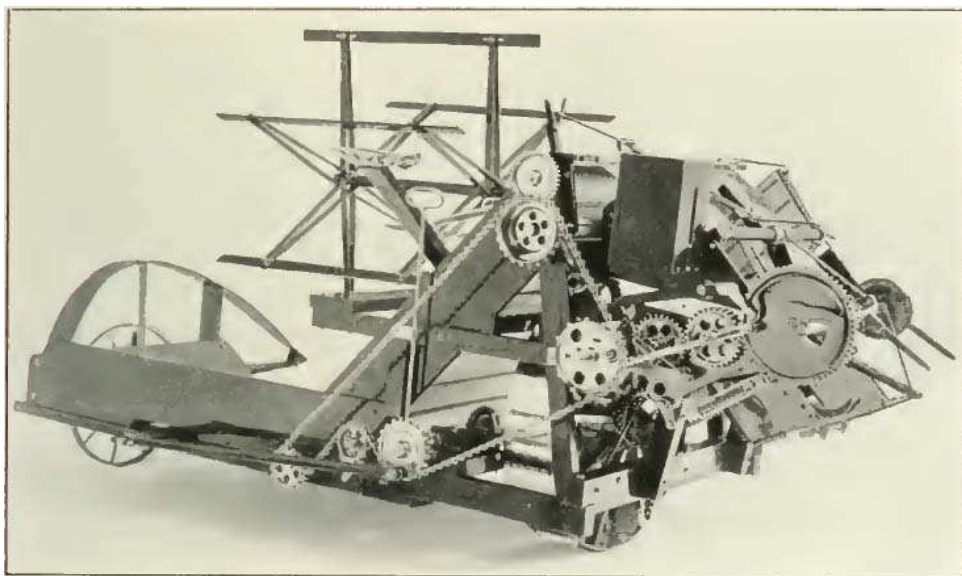


Figure 31: la moissonneuse lieuse à ficelle Deering-Marsh 1859 (ANONYME, 1900)

I.2.2 Les machines récolteuses d'épis (headers)

Tandis que l'évolution de la moissonneuse continue avec les divers modèles (en se basant sur le principe de couper les plantes à une hauteur faible plus proche du sol), une autre voie de développement des machines est suivie par d'autres inventeurs.

- (1)- Le 22 Octobre **1844**, un brevet fut octroyé à **GEORGE ESTERLY** pour une machine à moissonner (Figure 32). Elle était adaptée seulement à couper les épis. Elle consistait en une grande trémie montée sur quatre roues de support, deux d'entre-elles étaient motrices.

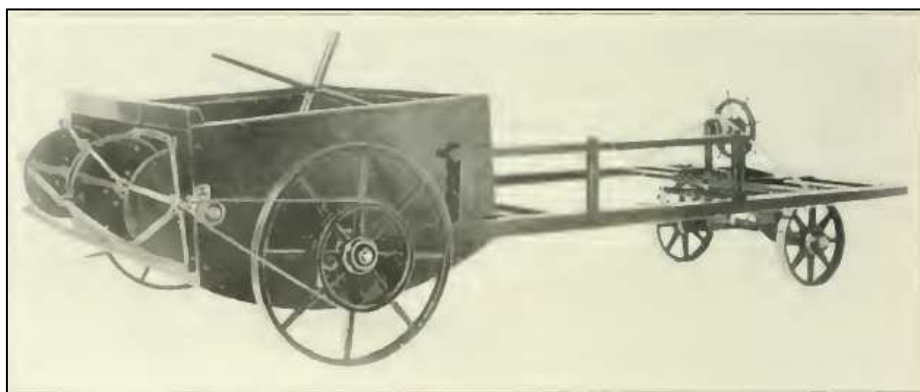


Figure 32: la récolteuse d'épis, de George Esterly 1844 (ANONYME, 1900)

A la face frontale, il y avait un cylindre rabatteur pour ramener les épis à la coupe en tournant grâce à un transfert de mouvement par courroie depuis les roues motrices, les lattes de ce rabatteur étaient en une forme spirale. Le système de coupe était en deux parties : stationnaire (le même principe des Gaulois), une lame de coupe fixe droite, attachée à la partie frontale de la trémie, et dynamique celle des lattes qui ramènent les épis et par intersection elles sont coupées et projetées dans la trémie.

- (2)- La plus importante invention dans l'art des récolteuses d'épis est celle de **JONATHAN HAINES**, de l'Illinois (USA), breveté Mars 27, **1849**, et connu dans tout l'Occident comme "*Haines Illinois Harvester*". Une table de coupe large, à hauteur réglable, équipée d'un rabatteur

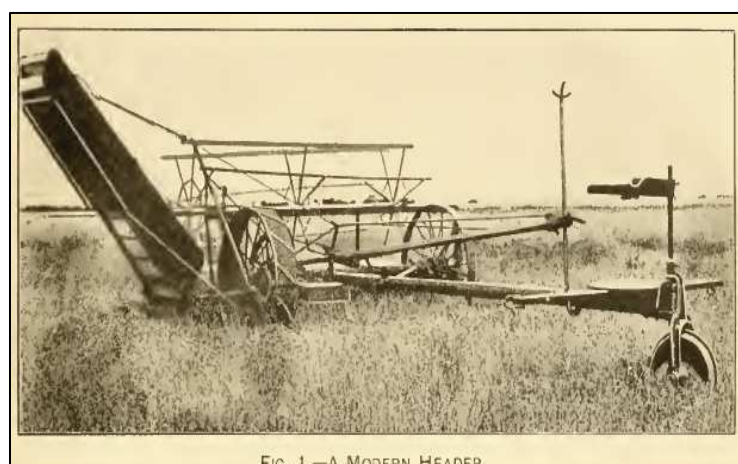


Figure 33: récolteuse d'épis HAINES, 1849.

(MILLER M. F., 1902)

et d'un tapis roulant horizontal puis incliné servait à transporter les épis vers un wagon avec un lit équipé à cet effet. Six hommes et dix chevaux peuvent, à l'aide de cette machine de coupe, travailler de 15 à 30 acres par jour. (MILLER M. F., 1902).

I.3 Les travaux Australiens

En 1836, les Britanniques ont déclaré l'établissement de l'État de l'Australie-Méridionale. Face à un problème sérieux de manque de nourriture causé à la fois par une grande demande des colons en migration continue sur cette terre, et par un manque de moulins à farine (le pain était le principal aliment), ainsi que par un autre problème plus grave, des pertes inattendues de grains pendant la récolte à cause des conditions climatiques ; ces dernières étaient favorables à la culture mais pas à la récolte, les épis et les tiges se cassent facilement à la coupe (trop sec). Importé de la farine était un gaspillage pour le nouvel état (les récoltes locales étaient riches), Sans ressources financières, de constructions mécaniques et scientifiques la colonie devait résoudre vite le problème de production de nourriture et celui de la récolte sous les nouvelles conditions de culture en Australie. Le gouvernement de l'état a fait appel aux entrepreneurs et aux inventeurs pour de l'aide. (CHUKSIN P., 2008)

Un certain nombre de mesures simples, innovatrices et rapides qui ont résolu le problème de manque de nourriture ont été prises :

1. des moulins à vent pour remplacer les moulins d'eau,
2. Deux moteurs à vapeur qui sont arrivés avec les premiers colons ont été utilisés pour broyer le grain.
3. annoncer une compétition annuelle, pour concevoir une moissonneuse convenable aux conditions de l'Australie-Méridionale, cela a stimulé l'esprit compétitif de beaucoup d'inventeurs et entrepreneurs.

En 1843 John Ridley (un anglais arrivé en 1839), a conçu une récolteuse d'épis très pratique (figure 34), (premier prix de 1844 de la compétition) La machine de Ridley était composée d'un peigne qui soulevait les épis, ces derniers sont arrachés par des batteurs tournants et déposés dans une trémie placée derrière. Cette machine était tirée par des chevaux. (Anonyme, 2006).

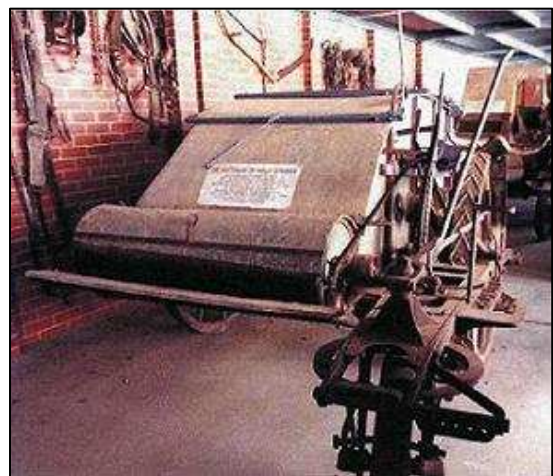


Figure 34: la machine de J. Redley améliorée (CHUKSIN P., 2008)

Cette machine est le point de départ d'une grande révolution industrielle en Australie.

II. EVOLUTION TECHNOLOGIQUE DE BATTAGE

Obtenir les grains à partir des céréales à la maturité, était un enchaînement de plusieurs opérations, qui se résument en deux concepts : la moisson et le battage. On vient de retracer, en gros, l'évolution de la moisson au fil de l'histoire.

II.1 Le battage manuel

Le battage des céréales était, pour long temps, une opération séparée de la moisson (cette indépendance existe toujours dans certain pays dits sous développées). Le principe était d'exercer une pression sur l'épi afin de libérer les grains.

Les techniques employées ont évolué au cours du temps et varient selon les aires géographiques. Le battage, comme pour la moisson, se faisait à mains nues ; puis, avec l'expérience et la mise en œuvre de simples outils, les techniques de battage s'amélioraient et les rendements augmentaient. Le caractère biologique des plantes avait une grande influence sur les techniques de battages adoptées. Avant l'opération, il est nécessaire que les céréales soient mûres et sèches, le séchage donc était une étape intermédiaire entre la moisson et le battage. (WOODRUFF C. E. A. ,1919)

Les premières tendances de battage étaient de faire écraser l'épi, un simple égrenage à mains nues, ensuite à l'aide de la force animale en utilisant des techniques et moyens plus élaborés, plusieurs technique et moyen sont donc employées(MALRAIN F., 2002 in Anonyme1, 2007) :

➤ **Le dépiquage** : Les céréales sont piétinées par le fermier ou par des animaux domestiques sur une aire de battage. (Figure 35)



Figure 35: dépiquage des céréales en Algérie (Anonyme 2, 2008)

➤ **Le chaubage** : Cette technique consiste à frapper les gerbes sur des parois ou des surfaces dures, le choc provoque ainsi la rupture des enveloppes.

➤ **Le peignage** : Consiste à faire passer les épis dans un peigne, ce qui sépare les grains de la tige et provoque l'éclatement de l'enveloppe.

➤ **Le fléau** : Composé de deux morceaux de bois articulés grâce à une lanière de cuir. Jusqu'à la fin du XIXe siècle, le fléau est l'outil le plus utilisé, un nombre de travailleurs frappent les gerbes étalées sur une aire plane, le choc provoque la séparation des grains de la paille.

➤ **Le tribulum** : Est une sorte de traîneau (Figure 36) sur lequel sont serties ou collés sur la face inférieure, des silex ou des clous (Figure 37). Tiré par des animaux, et chargé de pierres ou d'un homme se tenant dessus, il provoque en passant sur les épis, le hachage et le broyage de ceux-ci.



Figure 36: dépiquage avec traîneau à dépiquer (Anonyme 3, 2008)



Figure 37: face inférieure du traîneau à dépiquer (Anonyme 3, 2008)

- **Rouleaux à dépiquer :** On utilisait deux types de rouleaux : les premiers étaient en bois cannelé ou bardé de lattes saillantes en dents d'engrenage ; les seconds, soit lisse ou bien de forme tronconique (Figure 38), étaient en pierre. ces derniers, tirés par des bœufs (Figure 39), écrasait les gerbes ; celui en bois, est tiré par des chevaux, séparait le grain de la paille.



Rouleau en pierres lisse



Rouleau tronconique en pierre

Figure 38: différents types de rouleaux à dépiquer (Anonyme 4, 2008)



Figure 39: Rouleau à dépiquer tiré par la force animale. (Anonyme 5, 2008)

Le battage manuel, dans ces premières formes, montre nettement une évolution dans l'exploitation des forces agissantes sur l'épi et l'adaptation des outils (formes et techniques) afin de libérer les grains.

Le dépiquage à mains nues est un égrenage par écrasement continu (frottement) jusqu'à la libération totale des grains, c'est la plus parfaite méthode sur le plan technique mais le rendement est faible, toutes les forces exercées sont réparties et concentrées sur l'épi lui-même sans que ces derniers soit abîmés. Le piétinement animal est un choc discontinu, la paille étalée amorti la force en excès pour ne pas endommager les grains ; cette discontinuité montre que les forces exercées sont cycliques mais réparties anarchiquement, c'est le même cas pour le fléau et le chaubage mais avec un peu plus de précision et concentration sur les régions cibles (épis). Dans les formes et les techniques citées on trouve plus le concept du contre batteur (aire de battage) et des battes dans les systèmes de battage mécanique plus élaborés.

En ce qui concerne les systèmes à rouleau, on aperçoit une amélioration technique et une compréhension avancée sur les forces agissantes et leurs exploitations. Lorsque le rouleau passe en dessus des épis, il exerce une force tangentielle (ponctuelle) qui est résultante du poids et de la force de traction animale, qui écrase progressivement l'épi. La période de contact étant courte mais la répétitions font augmenter les chances d'un engrenage total.

Par contre dans le système à traîneau l'épi reste sous contrainte (surface plane) une période plus au moins longue que celle des autres systèmes. La surface inférieure en contact avec les épis est rugueuse, ce qui augmente largement les frottements nécessaires à l'égrenage.

Les différentes techniques et moyens manuels étaient des principes de base pour le battage mécanique. Une configuration « batteur / contre batteur » était la solution mécanique pour le battage.

II.2 Le battage mécanique

Depuis la fin du XIXe siècle le battage se fait à l'aide de batteurs mécaniques incorporés dans une batteuse à poste fixe ou une moissonneuse-batteuse, dont l'emploi s'est généralisé dans les pays industrialisés depuis la fin de la Seconde Guerre mondiale. **(Anonyme, 2009)**

II.2.1 Battage mécanique en Europe

Les travaux sur le battage mécanique remonte au début du XVIIIe siècle, **Michael MENZIES**, un **Écossais**, a été l'un des premiers qui ont expérimenté des machines de battage, malgré que sa machine construite en **1732** n'a pas donné de bons résultats mais elle constituait le point de départ pour d'autres expériences. Cette machine se composait d'un certain nombre de fléaux attachés à un cylindre horizontal en rotation entraîné par l'énergie hydraulique. **(WILLICH A. F. M. 1802).**

L'utilisation des fléaux, comme des éléments de battage, était intéressante, mais la rupture fréquente de ces fléaux a rendu cette machine sans succès. On constate que le travail restait lié à un concept (battage par fléaux) qui a déjà existait (battage par choc), dont la reprise était intégrale ce qui a été le point faible de la machine. Voir autrement ce concept, était une étape importante pour surpasser la défaite.

Le principe de battage à fléaux entraînés mécaniquement a été concrétisé par un autre Ecossais, **Michael STERLING** en **1753**, qui a réussi à améliorer la machine de MENZIES, en construisant un cylindre rotatif armé de rabatteurs qui a, pour la première fois, appliqué correctement le principe de battage à fléau. Cette machine se composait de deux *cylindres verticaux coaxiaux*, celui de l'extérieur était le support, sur le deuxième des *bras en croix* ont été fixés.

Les céréales étaient introduites par le haut du cylindre et les bras tournant rapidement battent les épis. Les grains libérés et la paille s'accumulent au fond et la séparation a été ensuite effectuée à la main par *vannage*. (Les références n'ont pas donné des schémas explicatifs à cette machine).

L'invention la plus importante sur le plan technique et fiabilité était celle de **Mr. Andrew MEIKLE** en **1785**, cette machine profite de la transformation de l'énergie éolienne, hydraulique et animale pour son fonctionnement, selon le principe de dépiquage par frottement (Figure 40 et 41)

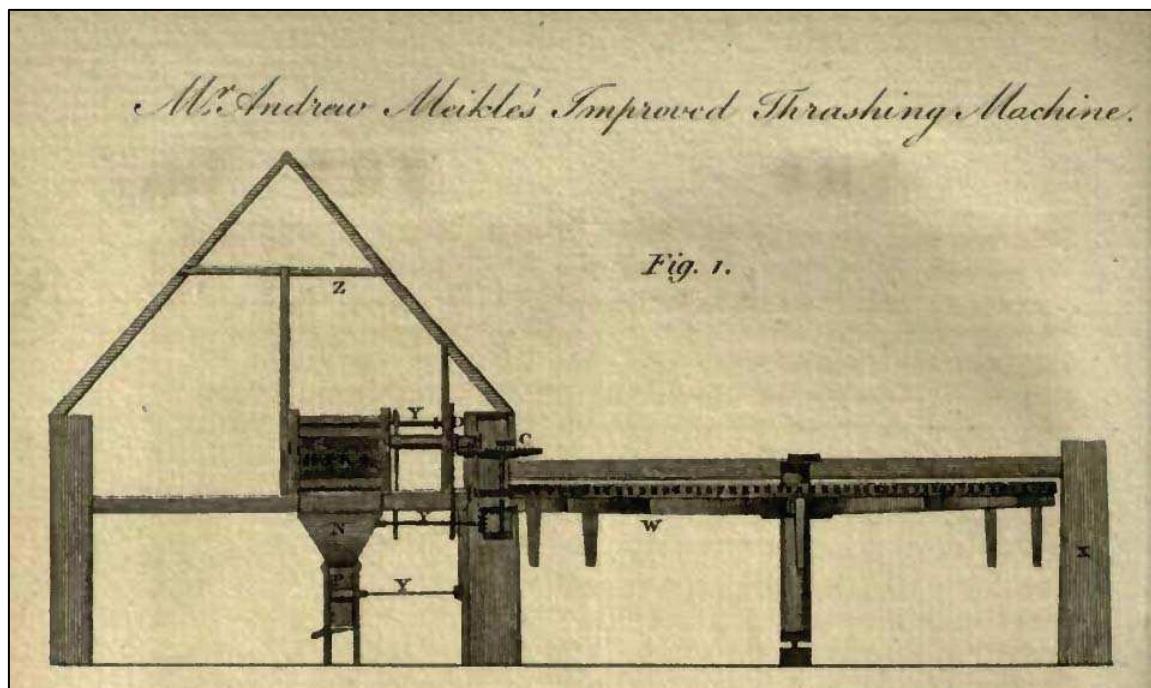


Figure 40: vue de coté de la machine de A. MEIKLE 1785 (WILLICH A. F. M. 1802)

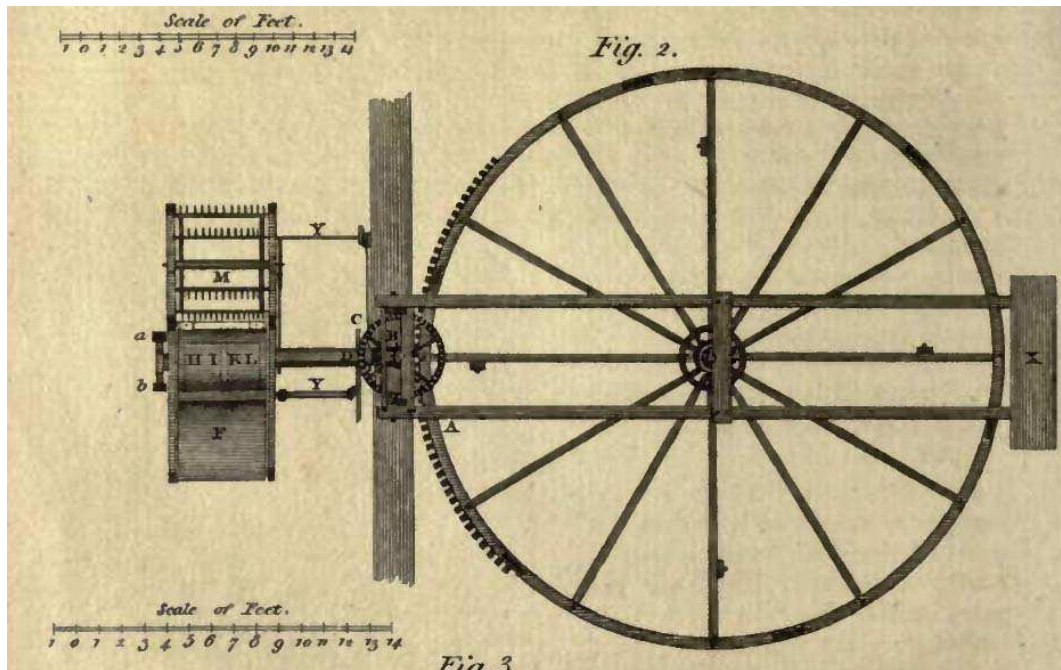


Figure 41: vue de haut de la machine de A. MEIKLE 1785 (WILLICH A. F. M. 1802)
 L'innovation dans cette machine était le système de battage (figure 42). Il se composait :
 D'une table d'alimentation inclinée (1), à son extrémité inférieure deux rouleaux horizontaux (2) et parallèles pour l'alimentation en continue. La récolte débouche dans la chambre de battage (3), le batteur était un tambour concave horizontal, sur le quel MEIKLE a fixé 04 lames dentées perpendiculaires à l'axe de rotation avec un intervalle de 90°.

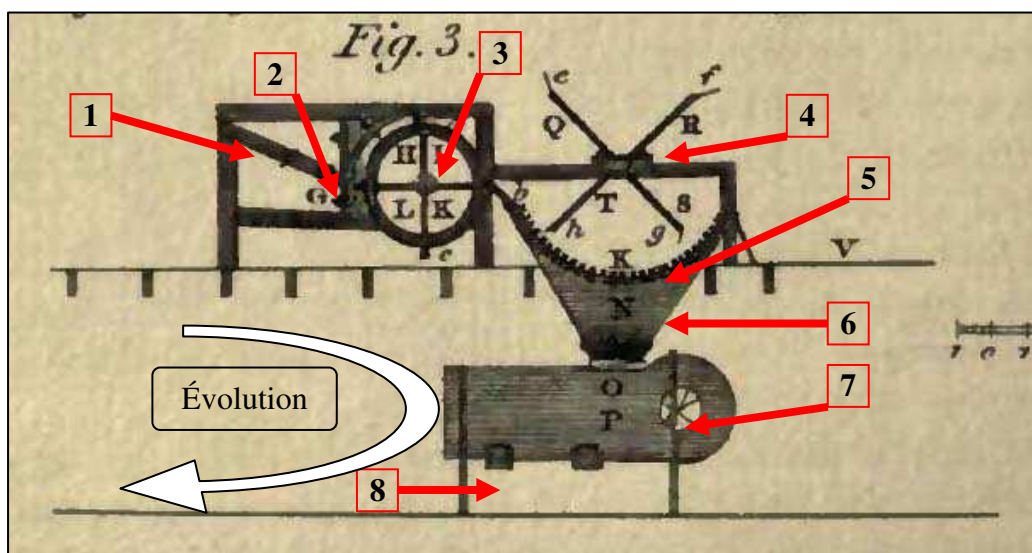


Figure 42: système de battage dans la machine de A. MEIKLE 1785 (WILLICH A. F. M. 1802)

Lorsque la récolte (paille + grains) est battue, elle est projetée dans un récipient muni de griffes, un système de râtelage (4) permet de séparer la paille des grains, ces derniers tombent à travers une grille (5) dans une trémie trapézoïdale (6), la ventilation (7) permet le nettoyage des grains et ces derniers sortent à travers des ouvertures (8) pour être stockés dans des sacs ou autre récipient.

La configuration des systèmes de battage et de nettoyage des machines conventionnelles d'aujourd'hui est semblable à la configuration du système de battage de **A. MEIKLE**, la machine était fabriquée en plusieurs modèles et dimensions.

Au cours du milieu et à la fin du XVIII^e siècle, une grande révolution industrielle fixée dans toute l'Europe, mais plus particulièrement en Angleterre. **JAMES WATT** a inventé, ou plutôt mis au point, la machine à vapeur à cette époque et a donné au monde une énergie portable à bon marché qui pourrait être utilisée pour actionner des machines à grande échelle dans tous les domaines surtout dans le secteur industriel des machines agricoles .

Les inventeurs ont profité de cette invention pour améliorer la machine de **Mr. Andrew MEIKLE**. L'amélioration poursuivait aussi sur les organes de cette machine, le tambour concave a été remplacé par d'un cylindre concave, la surface extérieure armée par des dents au lieu des lames rabatteurs.

Le perfectionnement des machines de battage vient du nouveau monde, selon **WITMER J. S. (1935)** : « *Le travail expérimental sur des machines de battage a été fait en Écosse, mais dans ce domaine comme dans la plupart des autres grandes inventions, aucun pays ou un seul individu a droit à tout le crédit. Alors que les bons principes fondamentaux du battage ont été élaborés à travers la mer, il est resté pour les inventeurs américains le perfectionnement de tout les petits détails qui vont composer la machine de succès que nous sommes aujourd'hui familiers.*

L'amélioration des machines de battage, dans le monde, continue, au XIXe siècle on trouve plusieurs modèles de batteuses à poste fixe. L'intégration des éléments de séparation et de nettoyage figure dans les modèles élaborés ainsi que les possibilités de rendre ces machines mobiles étaient un autre axe de perfectionnement. Les figures suivantes montrent les principaux modèles fabriqués à cette époque :

Batteuse à manège

Description

Millésime de l'œuvre : 1860

Machine à battre composée d'un manège à deux chevaux, à piste circulaire à terre, avec un arbre intermédiaire relié à deux poulies actionnant la batteuse équipée d'un tarare. (Figure 43).



Figure 43: Batteuse à manège (Anonyme 1b, 2008)

Dans les premières batteuses simples, le battage (séparation du grain de l'épi) excluait toute opération de nettoyage. Dès la moitié du XIXe siècle, des recherches furent entreprises pour doter les machines à battre d'un ensemble de nettoyage des grains par ventilation et par grilles calibrées. (Anonyme, 2008).

Batteuse trépigieuse Egeley:

Description :

Millésime de l'œuvre : 1890-1910

Batteuse en bois à plan incliné avec un tapis roulant sur une chaîne sans fin. Deux roues, un batteur à six battes en bois ferrées sur la face agressive, six secoueurs, un système de nettoyage avec grilles et ventilateur. Deux bouches de stockage. (Figure 44)

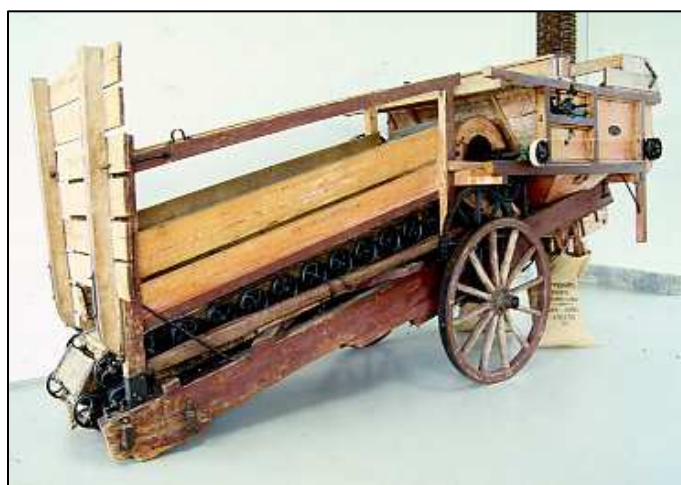


Figure 44: Batteuse trépigieuse Egeley (Anonyme 1c, 2008)

Ces deux modèles sont actionnés par la force animale, le premier était grand et représentait une partie des bâtiments de la ferme. La nécessité de déplacer les machines au champ de récolte ou bien le plus près possible a conduit à fabriquer des batteuses plus petites et mobiles.

Batteuse Merlin

Millésime de l'oeuvre : 1935

Grande batteuse en bois, sur roues en fer, avec secoueurs à vilebrequin et élévateur centrifuge

Sur les premières batteuses simples, le battage (séparation du grain de l'épi) excluait toute opération de nettoyage. Dès la moitié du XIXe siècle, des recherches furent entreprises pour doter les machines à battre d'un ensemble de nettoyage des grains par ventilation et par grilles calibrées. (Anonyme 1d, 2008).



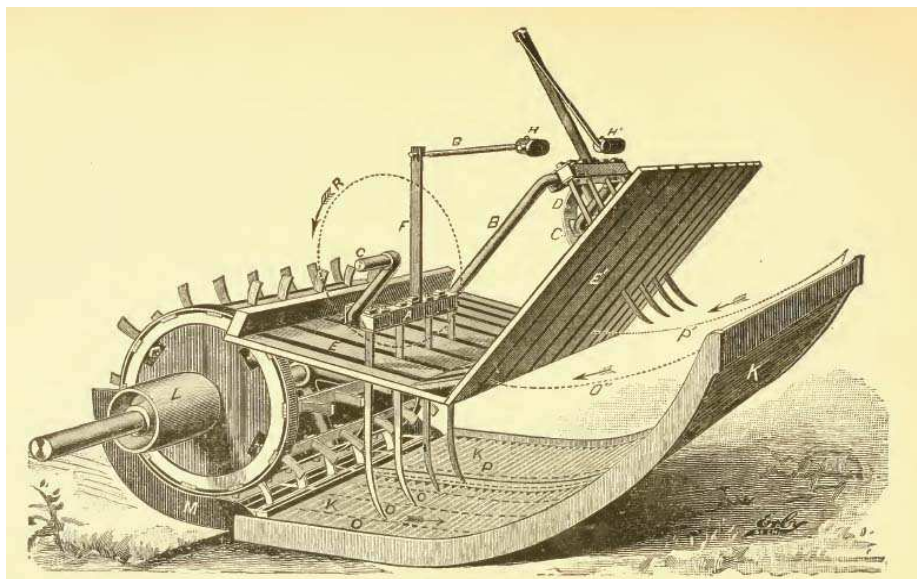
Figure 45: Batteuse Merlin (Anonyme 6d, 2008)

Ils existent d'autres modèles développés pour être actionnés manuellement par une simple manivelle et utilisés dans des petites fermes.

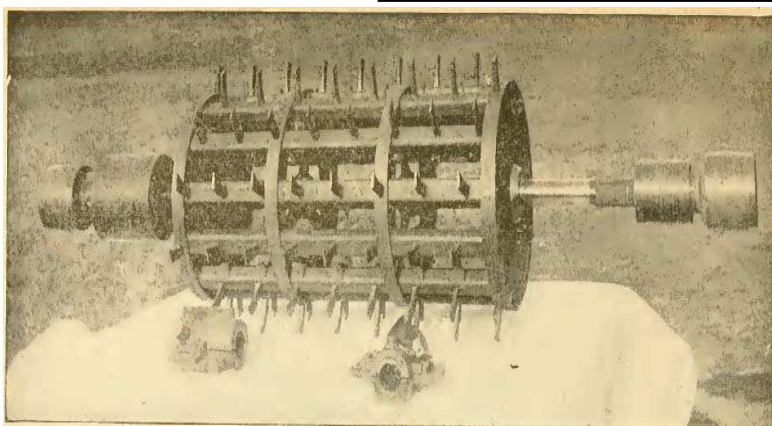
II.2.2 Battage mécanique aux Etats-Unis d'Amérique

Le développement des machines de battage était, selon toutes les références disponibles, extraordinaire, les inventeurs des Etats-Unis ont travaillé sur deux axes de développement :

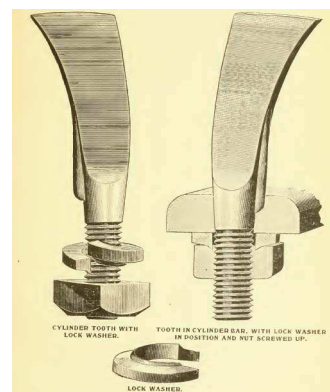
- Le premier concerne les batteuses à poste fixe ; ils ont apporté des améliorations et des perfectionnements sur les principes de base élaborés par les Ecossais et les Anglais ; ils ont inventé aussi leur propre machine en se basant sur d'autres principes de battage (Figure 46 et 47).
- Le deuxième axe : c'est l'invention la plus importante dans le concept de récolte des céréales, la **combinaison** entre la **moisson** et le **battage**. Et le reste des opérations de séparation et de nettoyage.



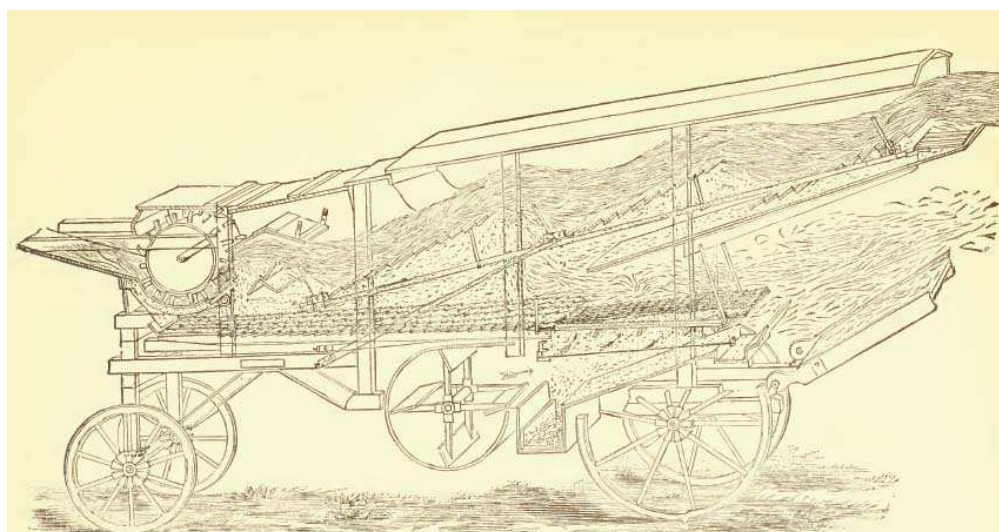
Système de battage par friction



Batteur

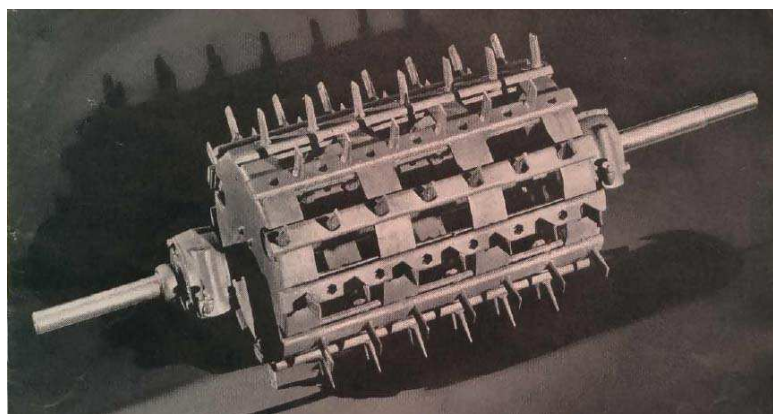


Dents

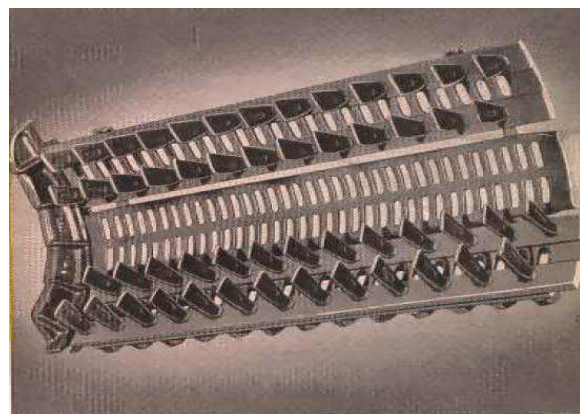


Batteuse en action

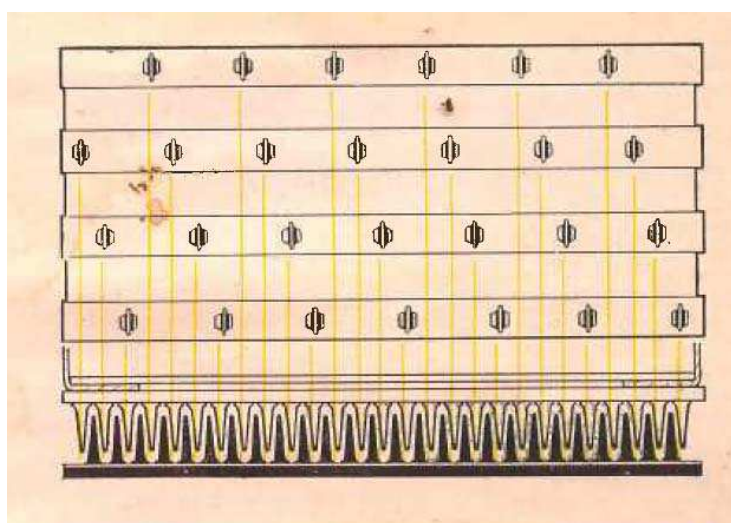
Figure 46: le nouveau système de battage perfectionné et amélioré au USA fin du 19^e siècle
(CONNER G. F., 1897)



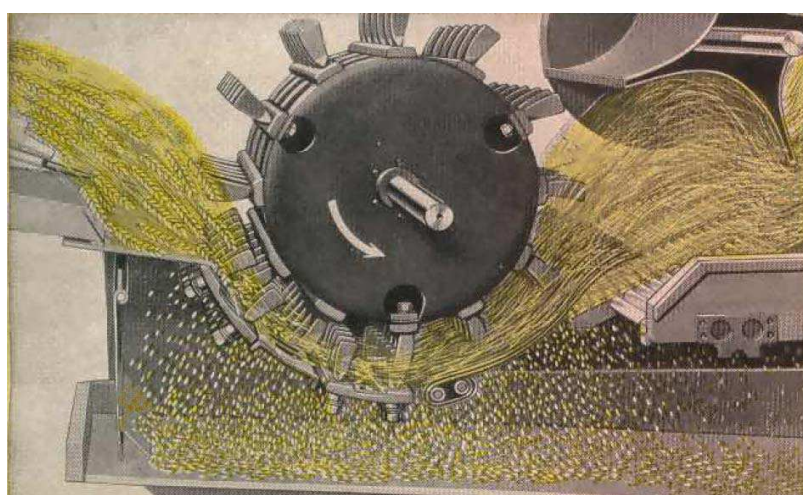
Batteur



Contre-batteur



Assemblage batteur/contre-batteur



Le système de battage en action

Figure 47: Système de battage CASE début du 20^e siècle (ANONYME ; 1904)

Il est rapporté (CONNER G. F., 1897 ; ANONYME, 1900 ; MILLER M. F., 1902 ; WITMER J. S., 1935) que, dès 1825, il y avait quelques batteuses simples utilisés aux États-Unis, mais ce n'est que trois ans plus tard que le sujet semble avoir attiré l'attention des inventeurs.

Par commodité, la suite de *l'évolution technologique des moissonneuses-batteuses* va être portée sur le deuxième axe. Les moissonneuses-batteuses du 20^e et du 21^e siècles prennent la nouvelle forme de combinaison des deux concepts moisson et battage, ainsi que l'intégration des systèmes de séparation, nettoyage et d'autres équipements incorporés.

III. COMBINAISON DE LA MOISSON ET LE BATTAGE

III.1 Récolteuse d'épis batteuse (*Headers combine*) aux USA

La combinaison entre la moisson et le battage est faite selon le concept de « headers » récolteuse d'épi. Ce concept n'est pas nouveau, il remonte à l'époque romaine avec la moissonneuse Gauloise (MILLER M. F., 1902), mais cette technique a été rénovée et exploitée de nouveau dans des machines de récolte au début du 19^e siècle, cette fois en combinant la moisson au battage. (Il faut noter que autres références mentionnent que ce principe est d'origine australien (Stripper Harvesters). (CHUKSIN PETER (2008)).

Dès 1828, Samuel LANE, de Maine (USA), a obtenu un brevet pour une batteuse mobile munie d'accessoires de récolte (*headers*), une machine très ingénieuse, mais complexe ; il n'est jamais allé au-delà d'un brevet (WITMER J. S., 1935), cependant, c'était une première tentative et un point de départ dans ce sens (MILLER M. F., 1902). Diverses autres machines ont été construites après, en cherchant à combiner la batteuse à la moissonneuse, et, dont quelques-unes, les plus importantes vont être mentionnées.

Une machine, pour le moissonnage, le battage, le nettoyage, et le stockage des céréales en sac, a été brevetée le 29 Juin 1836, par H. Moore et J. Hascall, qui contenait de nombreux dispositifs ingénieux (Figure 48), une méthode de moissonnage « récolteuse d'épis ou bien Header), la première machine (Figure 49) était de faible dimension regroupe l'ensembles des opérations précitées.

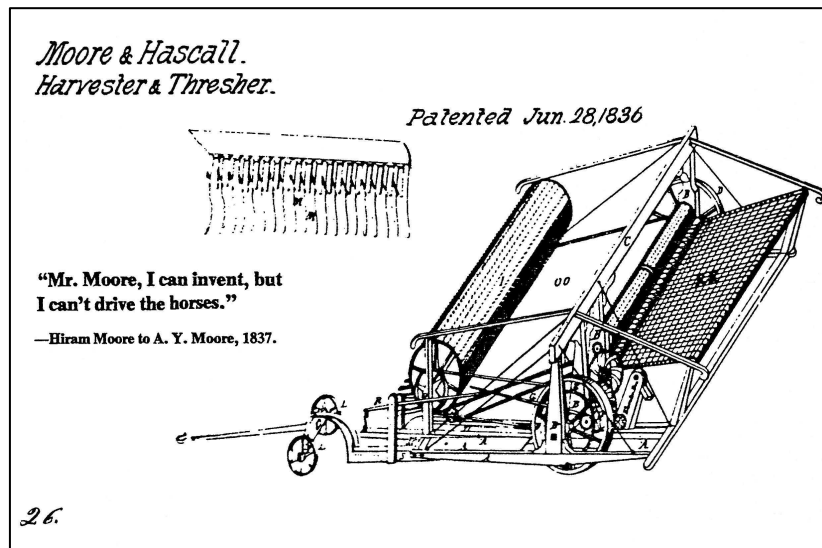


Figure 48: schéma de la machine de H. Moore et J. Hascall [COIN LARRY L., (2007); MASSIE LARRY, (2008)]

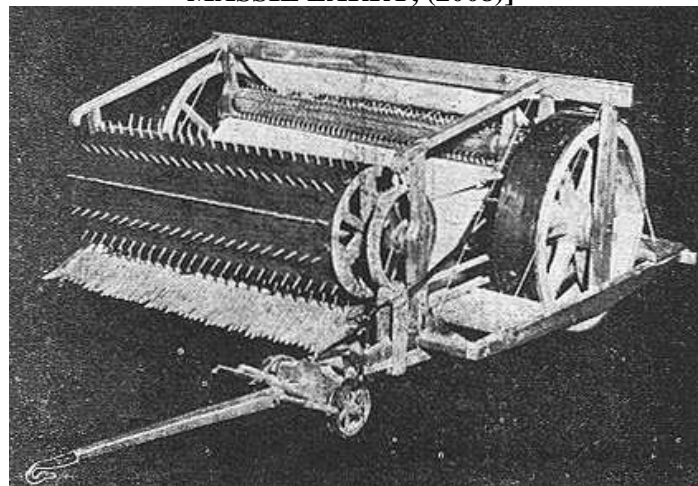


Figure 49 : la combine de H. Moore et J. Hascall [COIN LARRY L., (2007); MASSIE LARRY, (2008)]

Après dix ans de travail et d'amélioration **H. Moore** a conçu une autre machine (Figure 50) plus grande, il a associé une batteuse à une récolteuse d'épis, dont le système de battage est placé longitudinalement et alimenté transversalement par un tapis roulant à partir du tablier de coupe (header) placé latéralement. (MILLER M. F., 1902 ; LARRY L. COIN, 2007; LARRY MASSIE, 2008).

Malgré cette grande invention, la machine de H. Moore n'a pas eu de succès immédiat, la machine était trop lourde (plus de 20 chevaux pour la tracter), mais le principe éprouvé dès le début du 20^e siècle une grande attention.

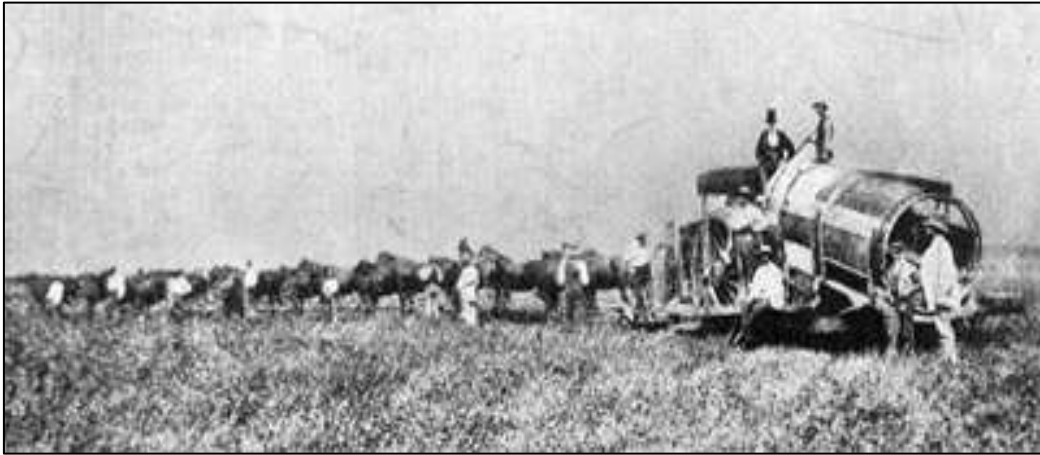


Figure 50: la combine de H. Moore et J. Hascall en action [COIN LARRY L., (2007);
MASSIE LARRY, (2008)]

La suite de développement était la combinaison entre les moissonneuses qui furent développées dans la même époque et les batteuses, sous plusieurs formes mais le principe restait le même et l'amélioration touche la matière, les formes et les organes de la machine et l'utilisation des tracteurs à vapeur et plus tard à gazoline. (Figure 51)

Les améliorations suivent deux voies, la voie des récolteuse d'épis (coupe haute) et la voie des moissonneuses (coupe plus basse). Le principe de rabatteur, indispensable, figure parmi d'autres organes incorporés pour perfectionner la moissonneuse batteuse.

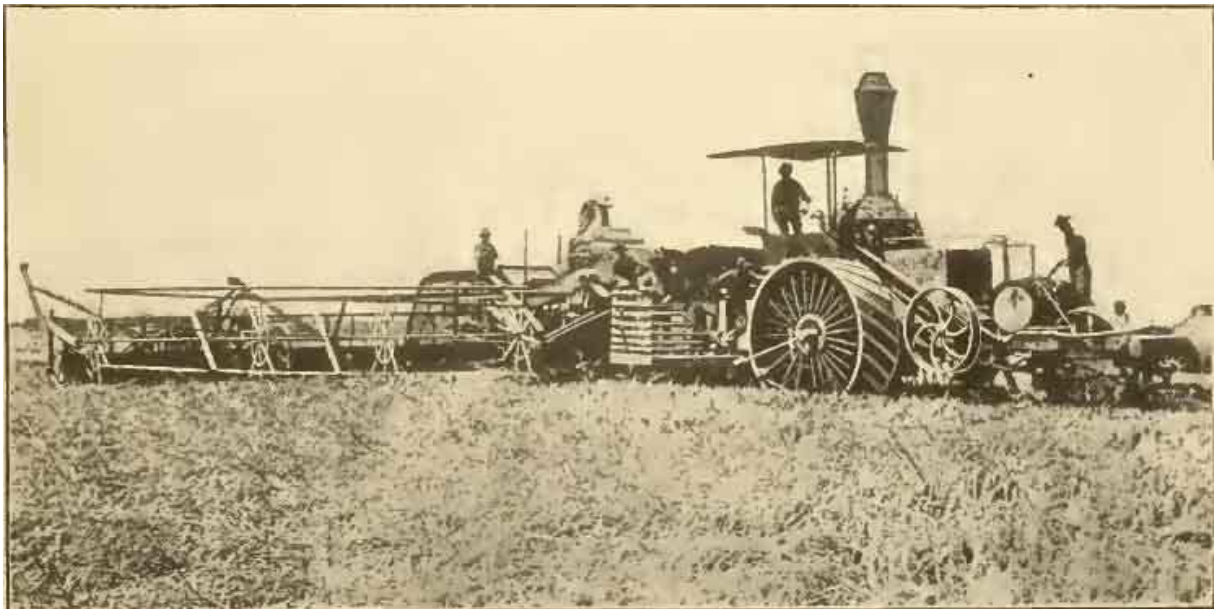


Figure 51: une moissonneuse-batteuse fabriquée à la fin du 19^e siècle (MILLER M. F., 1902)

Le développement des moissonneuses batteuses était extraordinaire, plusieurs constructeurs et compagnies industrielles ont développé cet art. La moissonneuse automotrice métallique était le dernier fruit de trois siècles de développement, mais le perfectionnement continue toujours. (Figure 52-53).



Figure 52: Moissonneuse-batteuse lieuse Guillotin (modèle1948) (Anonyme 1e, 2008)



Figure 53: la moissonneuse batteuse IH 91 (CASE IH) des années 1959(Anonyme 6, 2008)

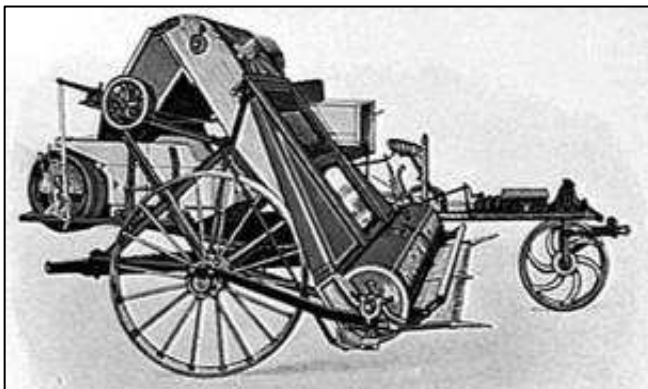
III.2 Récolteuse d'épis batteuse (Striping Harvester) en Australie

De nombreuses personnes ont travaillé sur l'amélioration de la machine de **John Ridley** ; la machine assure seulement la moisson les autres étapes se font séparément dans une batteuse, il ne reste qu'à fusionner la récolteuse d'épis à la batteuse en seule machine.

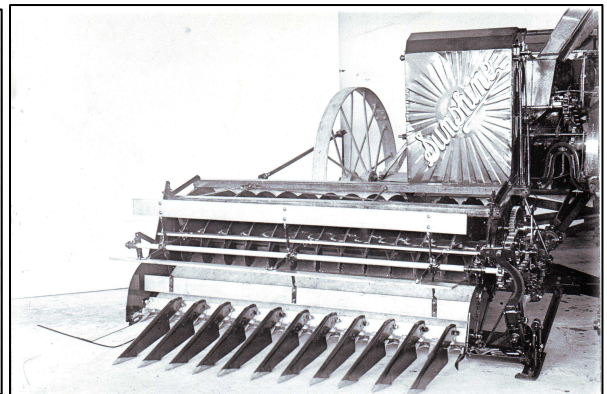
En **1858**, **Joseph Mellor**, l'un des principaux producteurs de la moissonneuse de **John Ridley**, a annoncé un concours pour l'invention de cette machine, l'idée n'a pas trouvé d'intéressés, mais plus tard cette idée va changer le cours de l'évolution des machines de récolte.

En **1883**, **James Morrow** a été le premier à fusionner les deux concepts, mais sa machine n'a pas été mise au point.

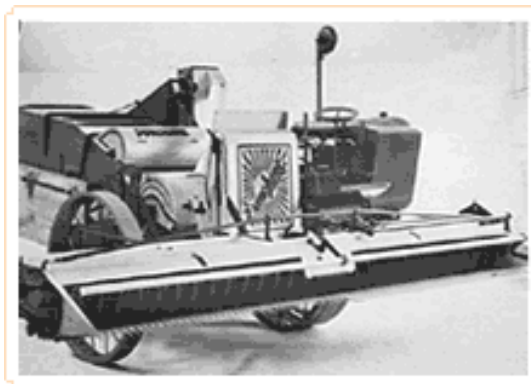
En **1895** **Victor McKay**, un industriel très actif a développé la récolteuse d'épi -batteuse, cette machine a été très performante et gagne le terrain rapidement, vendu sous le nom « *Sunshine Harvester* » (Figure 54.1). En **1911** **Victor McKay** a travaillé avec un autre inventeur, **Headley Sheppard Taylor**, ce dernier a apporté un changement radical dans le système de coupe conçu par **John Ridley**, le nouveau système a été un dispositif de coupe proche à celui de l'américain (**HUSSEY**). (**CHUKSIN PETER, 2008**). (Figure 54.2et3).



1



2



3

Figure 54 : des modèles « *Sunshine* » développés en Australie (**Anonyme, 2007**)

IV. SYNTHÈSE GLOBALE DE L'ÉVOLUTION TECHNOLOGIQUE DES MOISSONNEUSES-BATTEUSES.

Suivant l'évolution de la moissonneuse batteuse, on constate les points :

- ☞ Cette machine n'est pas inventée par un seul individu et elle n'appartient pas à une seule époque, elle n'est pas le fruit d'un seul travail.
- ☞ L'évolution des deux concepts, moisson et battage, était indépendante, avant que ces derniers ne soient combinés.
- ☞ Il y'a ceux qui ont donné l'idée, ceux qui l'ont développé, ceux qui l'ont réalisé ceux qui l'ont perfectionné, ceux qui ont profité et ceux qui ont exploité le résultat.
- ☞ La lenteur de la combinaison entre la moisson et le battage est due en grande partie à la difficulté de changer une pratique, la preuve c'est la moissonneuse lieuse et la batteuse métallique avant que le monde soit convaincu par la notion que les principes d'un concept peuvent changer d'interactions.
- ☞ L'invention à cette époque, était née par la capacité extraordinaire d'observation et l'imagination intellectuelle enrichie par d'autres apports scientifiques impulsés par la grande révolution industrielle.
- ☞ L'impact socio-économique : augmentation brusque de la production agricole.

Une chronologie de l'histoire des moissonneuses batteuses :

- ⇒ **1732** : batteuse mécanique fixe à fléaux de **M. MENZIES (SCT)** : système de battage par fléaux, ces derniers montés sur un arbre horizontal tournant (énergie hydraulique).
- ⇒ **1753** : batteuse mécanique fixe à fléaux de **M. STERLING (SCT)** : Amélioration de la batteuse fixe (**MENZIES**), une nouvelle configuration avec deux cylindres coaxiaux verticaux, un sert de support et l'autre tournant à grande vitesse et sur le quel des bras sont fixés pour battre les céréales en passage introduites par le haut.
- ⇒ **1769** : moteur à vapeur de **JAMES WATT (SCT)** : un nouvel apport technologique au monde des machines, une nouvelle source d'énergie mécanique.
- ⇒ **1785** : batteuse mécanique fixe à frottement de **Mr. A. MEIKLE (SCT)** : la première réalisation d'un système de battage conventionnel (bateur / contre - bateur) plus un système de ventilation pour nettoyage.
- ⇒ **Fin de 18^e** : des améliorations sur la moissonneuse fixe donnent naissance à la moissonneuse mobile sous plusieurs formes.

- ⇒ **1806** : Moissonneuse faucheuse de **GLADSTONE (ENG)** : système de coupe rotative, râtelage mécanique, la machine est tirée par chevaux, la récolte est coupée et disposée latéralement en andain continu.
- ⇒ **1808** : Moissonneuse de **SLAMON (ENG)**: système de coupe rectiligne alternatif bas, table de réception horizontale frontale, râtelage mécanique alternatif, récolte déposé latéralement en andain discontinu.
- ⇒ **1811** : Moissonneuse de **Mr. SMITH (ENG)** : système de coupe rotatif, système de réglage de la hauteur de coupe.
- ⇒ **1822** : Moissonneuse de **H. OGLE (ENG)** : système de coupe rectiligne alternatif, table de réception horizontale latérale, Rabatteur. Récolte déposée en andain continu à l'arrière de la machine.
- ⇒ **1826** : Moissonneuse de **P. BELL (SCT)** : système de coupe alternatif, table de réception inclinée frontale muni d'un tapis roulant, la récolte est déposée en andain continu latéralement.
- ⇒ **1828** : brevet de batteuse mécanique mobile combinée à une récolteuse d'épis de **S. LANE (USA)** : apport d'une nouvelle technologie, la combinaison entre le battage et la moisson.
- ⇒ **1833** : Moissonneuse de **O. HUSSEY (USA)** : système de coupe rectiligne alternatif perfectionné, table de réception latérale horizontale, râtelage manuel par l'opérateur.
- ⇒ **1834** : Moissonneuse de **C.H MCCORMICK (USA)** : système de coupe rectiligne alternatif perfectionné, rabatteur. Table de réception frontale horizontale, râtelage manuel.
- ⇒ **1834** : Moissonneuse de **A. RANDALL (USA)** : système de coupe rectiligne alternatif (deux lames superposées en mouvement).
- ⇒ **1836** : récolteuse d'épis équipée d'un système de battage de **H. MOORE** et **J. HASCALL (USA)** : une première combinaison réussie entre la moisson et le battage, une récolteuse d'épis équipée par un système de battage, la première machine était de faible dimensions c'est la « header combine ».
- ⇒ **1843** : récolteuse d'épis batteuse (*Striping Harvester*) de **J. RIDELY (AUS)** : invention d'une récolteuse d'épis batteuse (n'a pas de lien direct avec Header combine).
- ⇒ **1844** : Récolteuse d'épis (Headers) de **G. ESTERLY(USA)**: système de coupe rectiligne frontale par intersection entre des lattes spirales fixées sur un rabatteur et

- une lame de coupe fixe placée sur l'extrémité frontale inférieur de la trémie (plateforme de réception d'épis).
- ⇒ **1849** : Récolteuse d'épis (Headers) de **J. HAINES (USA)**: système de coupe rectiligne alternatif, plateforme de réception muni d'un tapis roulant plus un autre latérale (convoyeur) pour transporter les épis coupés et les déposer dans un wagon adapté.
- ⇒ **1851** : Moissonneuse de **A. PALMER** et **S.G .WILLIAMS (USA)** : système de coupe (Hussey) , plateforme de réception latérale horizontale en une forme d'un quart de cercle perfectionnée est adaptée pour un système de râtelage automatique
- ⇒ **1858** : Moissonneuse à liage manuel de **C.W** et **W.W. MARSH (USA)** : système de coupe (Hussey), table de réception latérale horizontale munie d'un rabatteur, d'un tapis roulant et d'un convoyeur latérale qui alimente une plateforme de liage manuelle (exécuté par les opérateurs).
- ⇒ **1858** : Dispositif de liage automatique perfectionné de **Mr. APPLEBY (USA)** : une nouvelle technologie, un système de liage révolutionnaire.
- ⇒ **1858** : **JOSEPH MELLOR (AUS)** annonce un concours pour fusionner la moisson avec le battage sur la machine de **JOHN RIDLEY**,
- ⇒ **1871** : Moissonneuse-Lieuse de **C.H MCCORMICK (USA)** : perfectionnement de la moissonneuse avec intégration de système de râtelage automatique et un système de liage automatique. cette machine fait un grand succès à cette époque construite par **I.H.C. (International Harvester Company)**.
- ⇒ **1879** : moissonneuse lieuse perfectionnée de **MARSH (USA)** : après la fusion entre *Marsh Co* et *Deering Co* qui a donnée la **DEERING MARSH COMPANY** , cette dernière donne naissance à une moissonneuse lieuse perfectionnée.
- ⇒ **1883** : **James Morrow (AUS)** est le premier à fusionner la moisson avec le battage en une seule machine, mais sa machine n'a pas été mise au point.
- ⇒ **1895** : récolteuse d'épis batteuse de **VICTOR MCKAY** : perfectionnement et production industrielle à grande échelle de la **Striping Harvester** par la société *Sunshine Harvester Company*.
- ⇒ **1911** : récolteuse d'épis batteuse avec une barre de coupe, de **HEADLEY SHEPPARD TAYLOR**, (*Sunshine Harvester Company*).
- ⇒ **Fin du 19^e siècle et le 20^e** : développement à grande échelle et perfectionnement continue de la moissonneuse batteuse sous ces diverses formes, migration des efforts intellectuels vers la combine et les anciennes formes continue d'évoluer mais cette

évolution décline au 20^e siècle et vers la fin de ce dernier, il n'y a que la combinaison qui continue son évolution.

⇒ **Ces jours-ci (2009) :** plusieurs constructeurs, plusieurs modèles, mais il y a deux catégories principales : *la moissonneuse batteuse conventionnelle et la moissonneuse non conventionnelle*. Une technologie de pointe et de nouveaux défis.

Le schéma (Figure 55) résume l'ensemble de cette évolution technologique, la migration et le déplacement des techniques et du savoir d'un secteur à l'autre a beaucoup enrichi l'art de la mécanisation de la récolte dans le système de production agricole. Dans les machines d'aujourd'hui il y a :

- un **système de coupe** (barre de coupe, releveurs, diviseurs, rabatteur, vis d'alimentation) ;
- un **système de battage** (bateur, contre-bateur, auge à pierres, tire-paille) ;
- un **système de séparation et de nettoyage** (secoueurs, caisson de nettoyage) ;
- un **système de stockage** (trémie) ;
- un **système de pilotage et de gestion** ;
- autres équipements et accessoires d'adaptations.

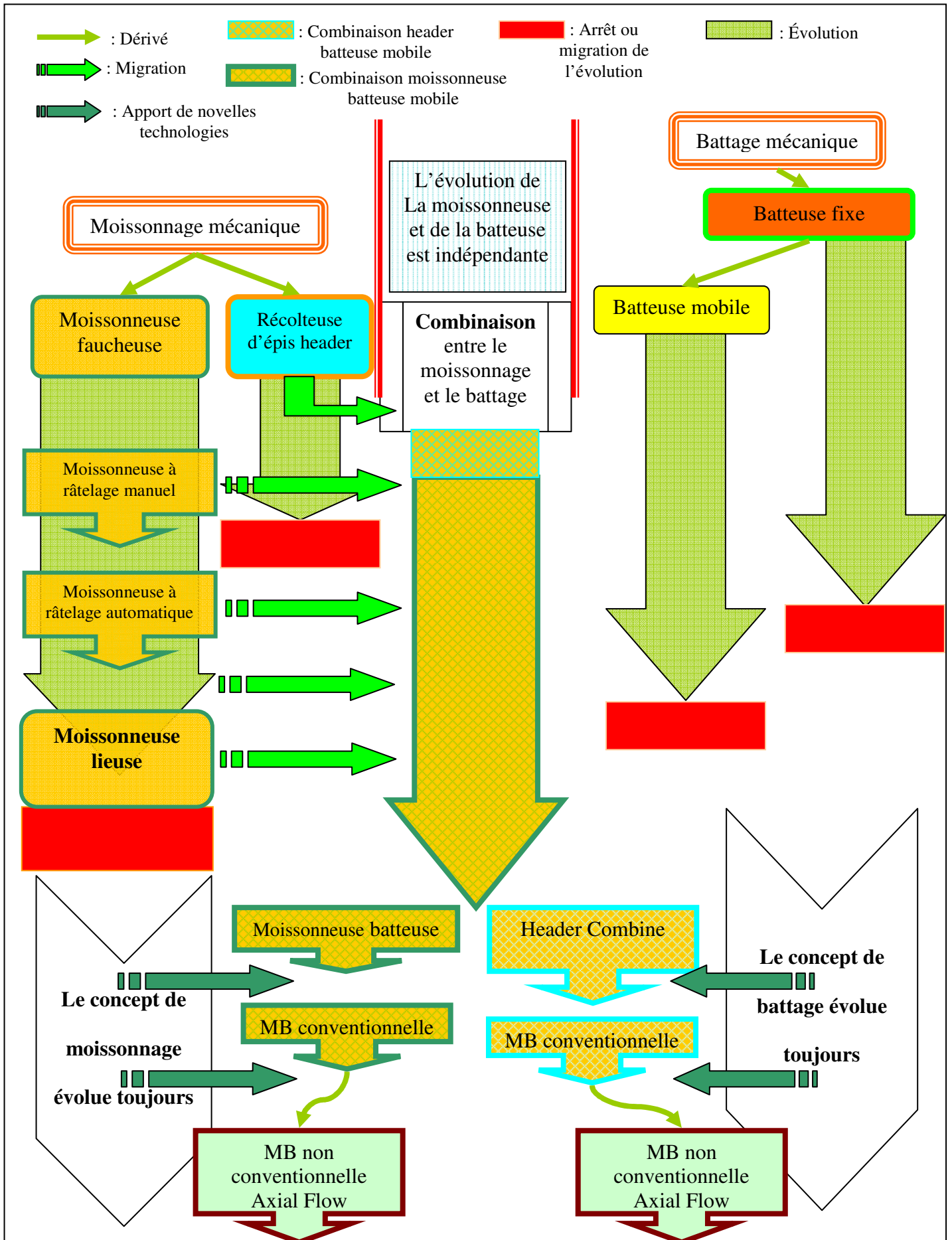


Figure 55: Synthèse globale de l'évolution de la mécanisation de la récolte

Chapitre II : Connaissances Fondamentales pour la Conception

INTRODUCTION

La conception est la phase qui précède toute opération de fabrication de n'importe quel objet, qu'il soit une pièce ou un ensemble qui définit à une échelle plus grande une machine, l'objet conçu assure une fonction dans d'un mécanisme élaboré.

Tous les travaux concernant la conception, se lancent à partir d'une plateforme qui regroupe l'ensemble des connaissances scientifiques et techniques acquises depuis des siècles.

Comprendre la conception conduit à la compréhension de ce qu'elle est, une science ? Un outil de développement ? Un moyen pour résoudre des problèmes ou simplement un art qui regroupe ces interrogations ?

GAUTIER R., (1995) ; SCARAVETTI D., (2004) ; LEBAHAR J.C (2008) résumant les principales références théoriques et méthodologiques sur la conception, il mentionne que ces références, dans un premier temps, portent sur les activités de conception, leur apprentissage et leur enseignement. Ensuite, elles ont été largement complétées par différents apports de d'autres domaines liés au champ spécifique; [**VISSER & HOC, (1990) ; FALZON, BISSERET & al.,(1990) LE COQ M.(1992) ; BONNARDEL,(1992) ; LEPLAT, (1993) ; DARSESE,(1994) ; VISSER,(1995) ; MENIRU, RIVARD, & BEDARD, (2003)**].

GAUTIER R., (1995) ; SCARAVETTI D., (2004), proposent aussi des démarches à suivre lors de la conception, leurs travaux sont très importants.

Les connaissances, sur le domaine de la conception des objets, sont nécessaires pour fonder une plateforme de base et entourer l'étude en cours par un cadre scientifique de recherche, ainsi, de justifier le recours à un certain aspect théorique dans la résolution du problème posé, suivant une démarche proposée qui est, en réalité, la structure même de ce document.

I. DEFINITIONS ET VOCABULAIRE

I.1 Définition de La conception

Il existe de nombreuses définitions de *l'activité de conception* (**JONES & THORNLEY, (1963), in GAUTIER R., (1995)**). D'une manière générale, l'activité de conception est décrite comme ayant pour objet de définir un produit ayant une fonctionnalité particulière et se conformant à certaines spécifications.

C'est une *activité créatrice* selon la norme NF L 00-007, qui aboutit à la définition d'un produit satisfaisant des besoins exprimés, industriellement réalisable à partir des moyens existants et des possibilités technologiques. (**AFNOR, (1987) in GAUTIER R., (1995)**).

Le terme « conception » désigne également le résultat des opérations de la résolution des problèmes. Il s'agit, dans le but de créer un produit ou un service destiné à satisfaire des besoins exprimés, une démarche de définition des tâches à accomplir et de résolution des problèmes précités. (**L'AQAP in GAUTIER R., (1995)**).

Selon **BRUYÈRE J., 2006**, Les *processus de conception* font l'objet de nombreuses réflexions pour les rationaliser et intégrer de plus en plus de paramètres (ensemble du cycle de vie) y compris ceux du point de vue de l'utilisateur final (ergonomie, perception subjective du produit, . . .).

Concevoir suppose de définir le problème (**LANZARA, (1986) in GAUTIER R., (1995)**). Une part importante de l'activité de conception est consacrée généralement à la structuration du problème, l'objectif est de concrétiser des étapes logiques fondées sur l'importance du savoir scientifique (**PERRIN J., (2001)**), et le reste, à la recherche de la solution (**SIMON, (1973), in GAUTIER R., (1995)**), et la justification des décisions prises au moment de l'élaboration du produit prévu.

Selon **BONNARDEL (1992)**, Cette activité est essentiellement mentale, orientée vers la réalisation d'objectifs, focalisée sur les aspects pertinents du produit, ce qui laisse présager le rôle important de l'expertise et la nécessité pour le concepteur de se construire (progressivement) une représentation précise du but de la conception ».

La conception de *produits nouveaux* est une *activité complexe* qui consiste à traduire une perception de besoins latents ou/et exprimés, en un produit support de services, pour des utilisateurs identifiés. **GAUTIER R., (1995).**

I.2 Définition d'un produit nouveau

Concevoir induit une notion de création, et donc de nouveauté. Concevoir un produit implique donc que ce produit est nouveau, Pour **CHOFFRAY J.M. & al (1983)**, on peut distinguer trois types de produits nouveaux :

- **les produits repositionnés** : légères modifications de l'aspect extérieur, le domaine d'application des produits repositionnés est élargi et est perçu alors, par les utilisateurs potentiels, comme nouveau ;
- **les produits reformulés** : Les produits reformulés ont des caractéristiques physiques nouvelles que l'utilisateur ne perçoit pas mais qui permettent à l'entreprise d'en élargir le champ d'application, ou d'en baisser le coût de production, d'en augmenter la fiabilité ;
- **les produits originaux** : les produits originaux ont des caractéristiques techniques et esthétiques qui font que leur nouveauté est perçue par les consommateurs, mais également par l'entreprise qui met en oeuvre un savoir-faire nouveau

Le cycle de vie d'un produit est défini comme étant (**THOMSON-CSF, (1990) in GAUTIER R., (1995)**) : « *L'ensemble des phases successives de la vie d'un produit qui se déroulent à partir de l'expression du besoin global jusqu'à la réalisation et l'exploitation du produit par le client utilisateur* ».les phases les plus couramment retenues sont (Figure 56) :

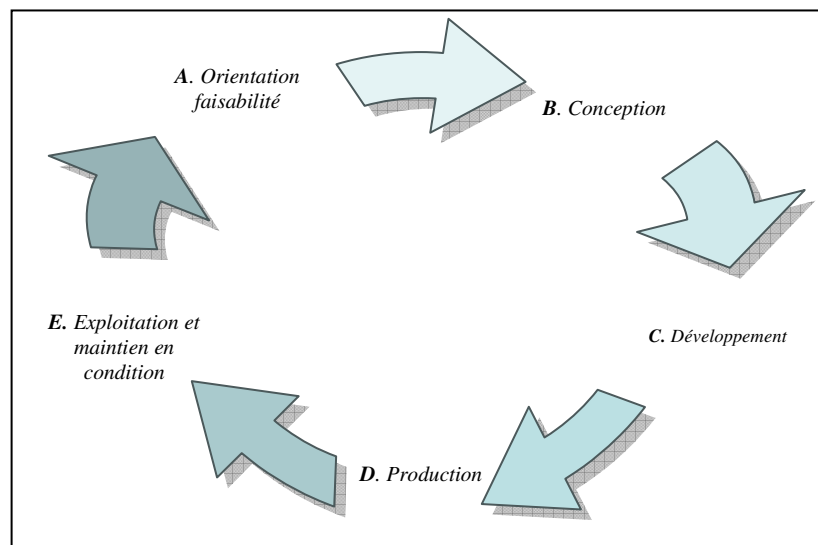


Figure 56: cycle de vie d'un produit (**Thomson-Csf, (1990) in GAUTIER R. (1995)**)

I.3 Les démarches de conception de produit nouveau

Dans de nombreux travaux de recherche, le processus de conception est «décortiqué» de diverses façons. Afin d'arriver à un but précis, le point de départ permet de formaliser les différentes connaissances nécessaires à la génération d'une architecture organisationnelle

Certaines situations de conception industrielle, en particulier quand le produit est déjà connu, peuvent mettre à la disposition du concepteur, des procédures prédéfinies, par exemple, dans le cadre d'une politique d'Assurance Qualité en Conception (AFNOR, normes ISO 9000). Cependant, l'activité de conception (Figure 57) étant une activité complexe, les situations de conception sont généralement considérées comme des situations de résolution de problèmes (CALVEZ, (1990), BONNARDEL, (1992)).

Dans le cas où le concepteur ne dispose d'aucune procédure directement applicable pour atteindre le but [MALHOTRA, THOMAS, CARROLL & MILLER, (1980)], cette situation amène le concepteur à adopter des stratégies visant à élaborer une « réponse adaptative » (REUCHLIN, (1981)). (In GAUTIER R., (1995)).

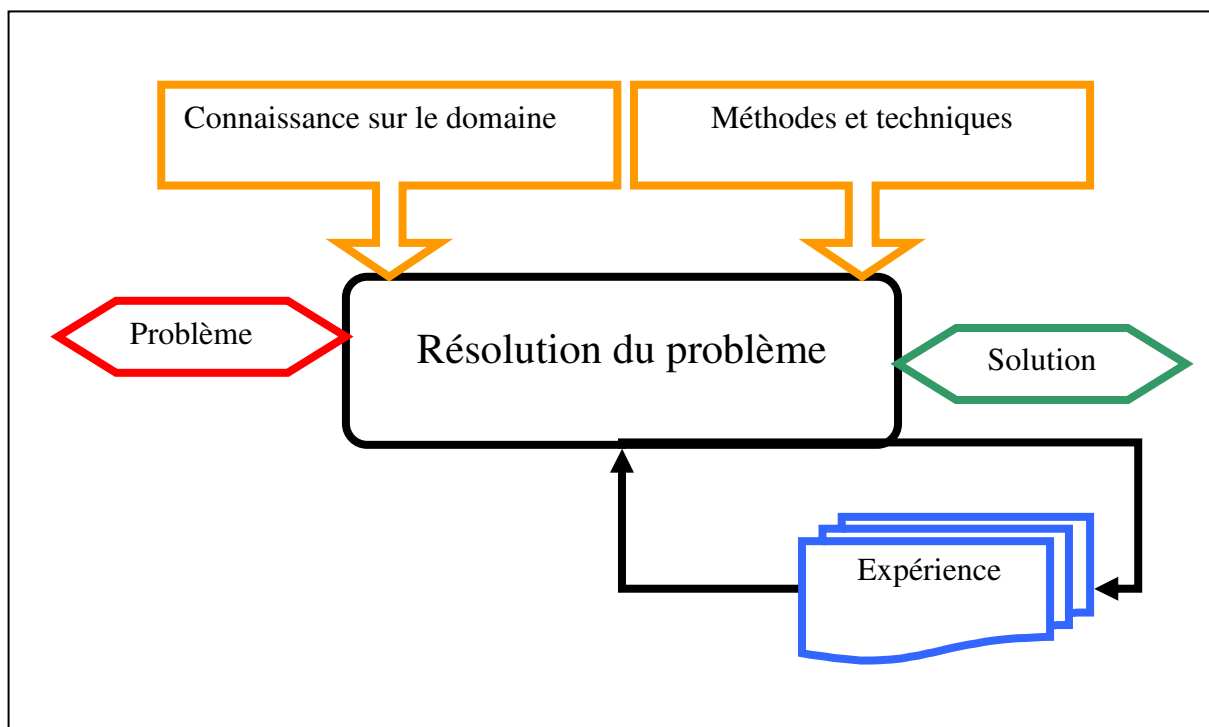


Figure 57: processus de résolution de problèmes (BONNARDEL, (1992)).

Les démarches de conception de produit sont nombreuses (**FOUGERAT (1994), AFAV (1994), in GAUTIER R., (1995)**). De cette diversité, on peut déterminer deux classes de démarches :

- Les démarches cartésiennes : linéaires, séquentielles.
- Les démarches systémiques : simultanéité, globalité.

De même que pour la modélisation d'un produit, ces deux approches cohabitent et sont des facteurs d'ambiguïté et d'incompréhension entre les différents acteurs de la conception de produits.

I.3.1 Les démarches « Cartésiennes » : linéaires, séquentielles.

Les démarches Cartésiennes sont basées sur la décomposition des travaux de conception en éléments simples. Ces éléments simples sont étudiés séparément puis réunis de nouveau dans une synthèse.

Selon (**BISSERET, (1987) ; CHANDRASEKARAN, (1990) ; MAHER, (1990) ; in GAUTIER R., (1995)**). La démarche de conception est décomposée en phases. Chacune de ces phases est elle même décomposée en étapes, voir en sous étapes, ceci jusqu'à la définition de tâches élémentaires (Figure 58). Cette démarche descendante propose une planification du projet de type hiérarchique (**EASTMAN, (1969) ; VISSER, (1987) ; in GAUTIER R., (1995)**).

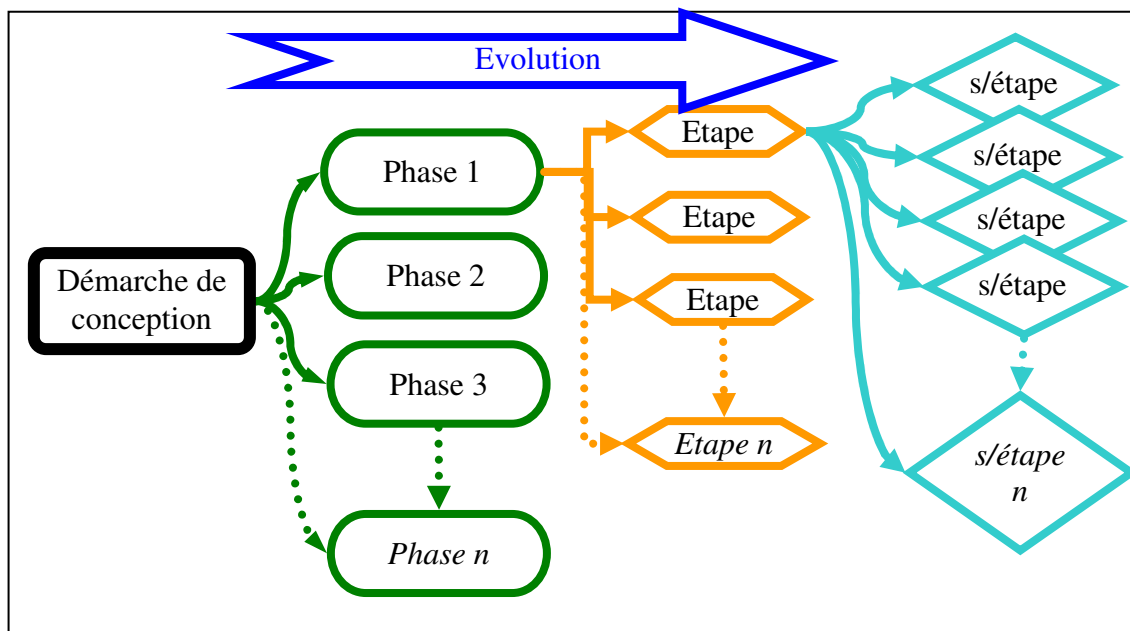


Figure 58: Les démarches « Cartésiennes » : linéaires, séquentielles

La conception de produit apparaît alors comme étant un processus linéaire, pour lequel la méthode propose un guide d'utilisation. La conscription des tâches élémentaires amène généralement à dresser des listes de documents associés, assurant la traçabilité et le contrôle de la bonne conduite du projet [DUNAUD, (1987) ; CAVAILLES, (1992) in GAUTIER R., (1995)]. Ces démarches sont d'une utilisation souvent efficace pour la conception de produits matériels à forte dimension technologique : les phases et étapes de conception peuvent être définies en se basant sur une décomposition architecturale du produit (Figure 59) (LE COQ, 1992) :

- On part de l'énoncé des fonctions du produit,
- Le produit est décomposé en système, sous-système (S/Sys) et composants ayant des fonctions élémentaires (CFE),
- On aboutit progressivement à la définition de solutions techniques permettant de mettre en oeuvre ces fonctions élémentaires,
- Le produit final est recomposé à partir des composants élémentaires.

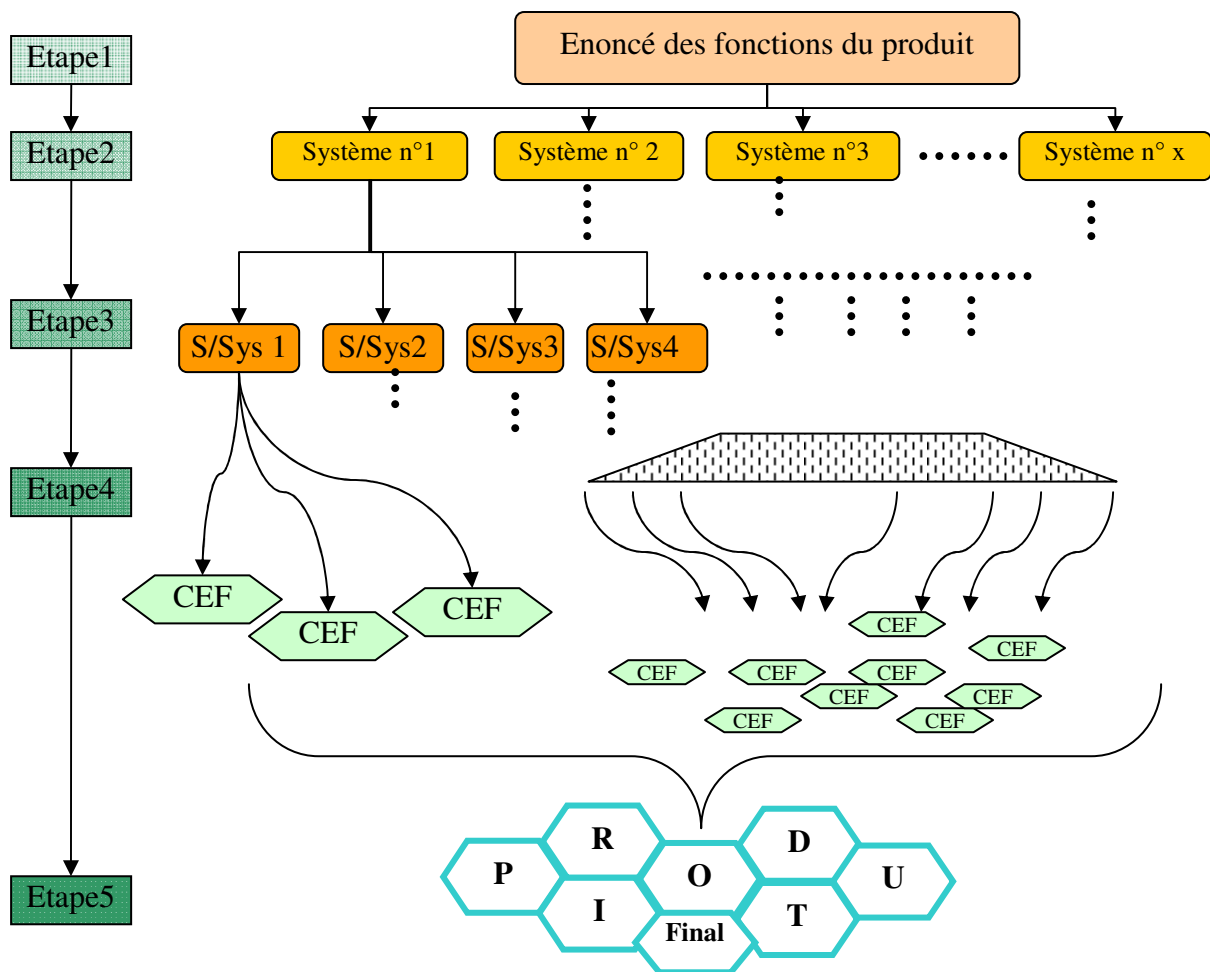


Figure 59: Les phases de la conception et la décomposition architecturale du produit

I.3.2 Les démarches systémiques : simultanéité et globalité.

Les *démarches systémiques* proposent de modéliser l'activité de conception en vue d'apporter la connaissance sur la réalité organisationnelle de l'entreprise. Cette activité est comprise comme étant un système s'insérant dans l'ensemble des autres systèmes de l'organisation. Selon **DE ROSNAY J., (1974)**, un système est "un ensemble d'éléments en interaction dynamique organisé en fonction d'un but".

L'approche systémique est une démarche intellectuelle de réflexion et de synthèse, contrairement à l'analyse qui est une démarche intellectuelle de connaissance.

L'analyse aide à distinguer les choses qui ont une nature (ou un aspect) apparemment identique alors que l'approche systémique permet de mettre en évidence ce qui rassemble des choses de nature différente, en dégagant ce qui les lie et les hiérarchise. Elle aide à trouver les "ensembles" et est complémentaire à l'analyse en mettant en évidence ce sur quoi l'analyse doit porter et les limites utiles de l'analyse. **GAUTIER R., (1995)** (Figure 60)

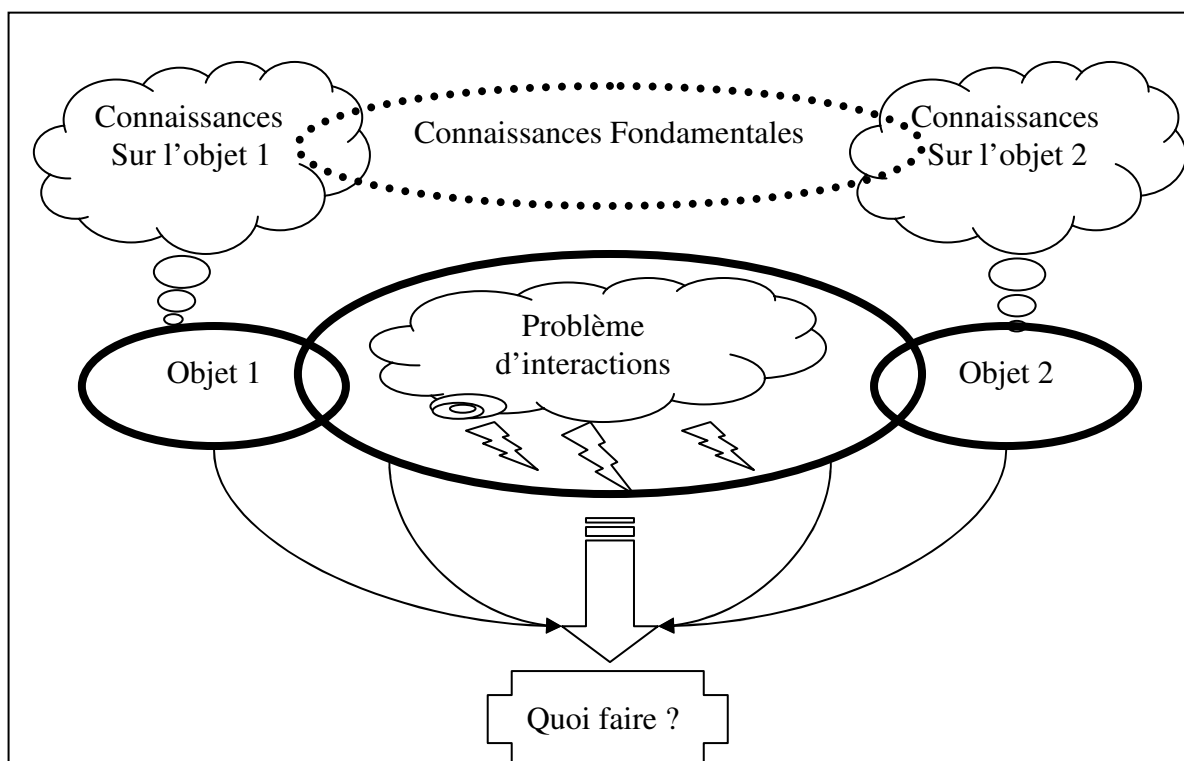


Figure 60: L'approche systémique s'intéresse au "quoi faire" plutôt qu'au "comment faire".

L'apport d'informations extérieures au concepteur ou à l'équipe de conception, peut perturber l'organisation d'un projet. Selon **VISSER (1987)**, le concepteur procède à des itérations multiples de validation d'hypothèses et de solutions, des interruptions plus ou moins longues dans le cycle de conception, des remises en causes de décisions prises en amont.

Ces dérives par rapport à la planification initiale d'un projet sont à la fois des « défaillances » du système de conception [EASTMAN, (1969)] mais également une preuve de réactivité et d'adaptabilité des concepteurs face à des situations nouvelles. (in GAUTIER R., (1995)).

I.3.3 Exemples de démarches

I.3.3.1 L'approche en Ingénierie Simultanée :

L'approche en Ingénierie Simultanée (*traduction de Concurrent Engineering*), une organisation séquentielle et linéaire de l'entreprise industrielle engendre des effets d'entonnoir à chaque phase de conception d'un produit. Pour cela il a été élaboré le concept de *Concurrent Engineering*, que l'IDA (*Institute for Defense Analyses*) désigne comme étant : « une approche systémique qui intègre le développement simultané des produits et des processus associés, incluant la fabrication et le soutien logistique. Cette approche prend en considération dès le démarrage, le cycle de vie du produit depuis sa conception jusqu'à son exploitation, en incluant la qualité, les coûts, la planification et les besoins des utilisateurs ». (IDA Report R-338, in GAUTIER R., (1995)).

En Ingénierie Simultanée, une activité peut commencer alors que celle qui la précède n'est pas encore terminée. Ainsi, une partie des tâches sont mises en parallèle, ce qui permet de réduire les délais d'un projet.

Chacun dans l'équipe projet doit alors travailler sur des bases non stables, et vérifier régulièrement l'impact du travail des autres sur le sien. Dans ce principe, la notion de phasage est plus souple que dans un processus de conception séquentiel.

La transition d'une phase à l'autre n'est plus séquentielle. Elle se fait par gel progressif des tâches en amont pendant le démarrage des tâches en aval. Ce recouvrement partiel des tâches implique une analyse des risques pris en commençant la tâche aval avant la fin de la tâche amont.

I.3.3.2 La démarche CPN-ENSAM : une démarche « prescriptible »

Un autre exemple d'une démarche qui peut être classée dans la catégorie des démarches cartésiennes, La démarche CPN-ENSAM (GAUTIER R., (1995)), c'est une démarche « prescriptible », mise en oeuvre de manière linéaire et s'applique de préférence à des produits matériels. Cependant, cette approche « plurielle » démontre la nécessité de prendre en compte de manière combinatoire, un grand nombre de compétences métiers différentes. Ceci afin de générer, confronter, enrichir et évaluer les solutions alternatives d'un problème

de conception. La mise en évidence de cette nécessité de la pluridisciplinarité de la conception de produits nouveaux, enrichie par les travaux de **LE COQ (1992)** ; **RICHIR (1994)** ; **MILLET (1995)** et de **CHRISTOFOL (1995)**, a permis de proposer des modèles alternatifs, originaux, s'appuyant sur des théories appelées « prescriptives » engendrant des « démarches prescriptibles ».

CHRISTOFOL (1995), s'appuyant sur les travaux de **PROST (1992)**, a démontré que ces démarches prescriptibles étaient des enchevêtrements des théories normatives et des théories descriptives permettant d'organiser des démarches de conception qui respecte l'autonomie nécessaire à la créativité de chacun des acteurs, et qui s'adapte aux objectifs et aux données spécifiques du projet.

I.3.3.3 La démarche globale d'aide à la décision

A partir de plusieurs concepts de solution pertinents, **SCARAVETTI D., (2004)** propose la *démarche globale d'aide à la décision*, les grandes étapes de cette démarche sont :

- **L'écriture du problème** de conception préliminaire sous forme de Problème par Satisfaction de Contraintes (PSC), dont le formalisme est adapté à la modélisation et qui permet d'énoncer des contraintes de manière indépendante.
- **La recherche exhaustive des architectures solutions** par un solveur PSC, qui permet la prise en compte simultanée de toutes les contraintes, sans séquentialité ni priorité entre elles. Nous définissons une solution comme un ensemble de variables de conception valuées.
- **L'exploitation et la réduction de l'espace des solutions** pour aider à la décision : soit par la hiérarchisation des solutions, soit par la réduction de l'espace et la recherche de l'ensemble des solutions non dominées à partir du front de Pareto.

C'est seulement ensuite qu'un choix est à faire parmi ces solutions, mais l'espace des solutions dont le concepteur dispose n'a pas été arbitrairement restreint par des choix initiaux.

De plus, le concepteur peut désormais disposer d'éléments chiffrés d'évaluation. Cette étape nécessite donc des variables critères pour exprimer la pertinence de la conception.

I.4 Définition du domaine d'application

Un système de production agricole est un mode de combinaison entre terre, forces et moyens de travail à des fins de production végétale et/ou animale, commun à un ensemble d'exploitations » (REBOUL C., (1976), in BROSSIER J. (1987)).

L'étude en cours, est une étude de conception d'un mécanisme d'adaptation servant à améliorer techniquement un outil de production agricole. La conception donc, s'engage dans un domaine bien déterminé, qui le domaine de production agricole.

Considérer l'outil comme étant un élément de production conduit à l'identification de son affiliation hiérarchique dans cette production agricole et à considérer cette dernière comme étant un *système* et de la définir, par qualification, un *système de production agricole*.

Par conséquence, le domaine d'application de la conception est prescrit comme étant la conception d'un élément constituant un système de production agricole.

I.5 Définition d'un système

De multiples définitions existent. Selon les accents que souhaitent mettre les différents auteurs comme celle donnée par (REBOUL C, (1976)) pour définir un système particulier, on donne les plus basiques définitions :

- Au plan étymologique, le mot système dérive du mot grec « *systema* » qui signifie « ensemble organisé ».
- BERTALANFFY VON (1937) définit un système comme étant « Un complexe d'éléments en interaction », PIROTTON G., (2005)
- Selon LE MOIGNE (1991), (in, GAUTIER R., (1995)) : « Un système est quelque chose (n'importe quoi) qui poursuit des finalités (un projet), dans un environnement actif et évolutif, en exerçant une activité (des fonctions), en s'organisant (interactions) et en évoluant sans perdre son identité. »
- D'après DE ROSNAY J. (in FICHOU P., (2004)), un système est un ensemble d'éléments, en interaction dynamique, organisés en fonction d'un but.
- Selon Anonyme FAO (1993), Arrangement fonctionnel d'éléments qui transforment des intrants en extrants, par exemple une exploitation agricole. Les systèmes sont caractérisés par des propriétés qui résultent de l'interaction de leurs éléments.

On peut tirer, de ces définitions, un point important : dans une hiérarchie régressive d'un système de plusieurs niveaux, un élément peut être à la fois considéré comme un élément qui

appartient à un système plus haut et un système qui comprend plusieurs éléments en interactions. Cette qualification en *système* ou en *sous système* ou bien en *élément* est en fonction du *repère* choisis (Figure 61).

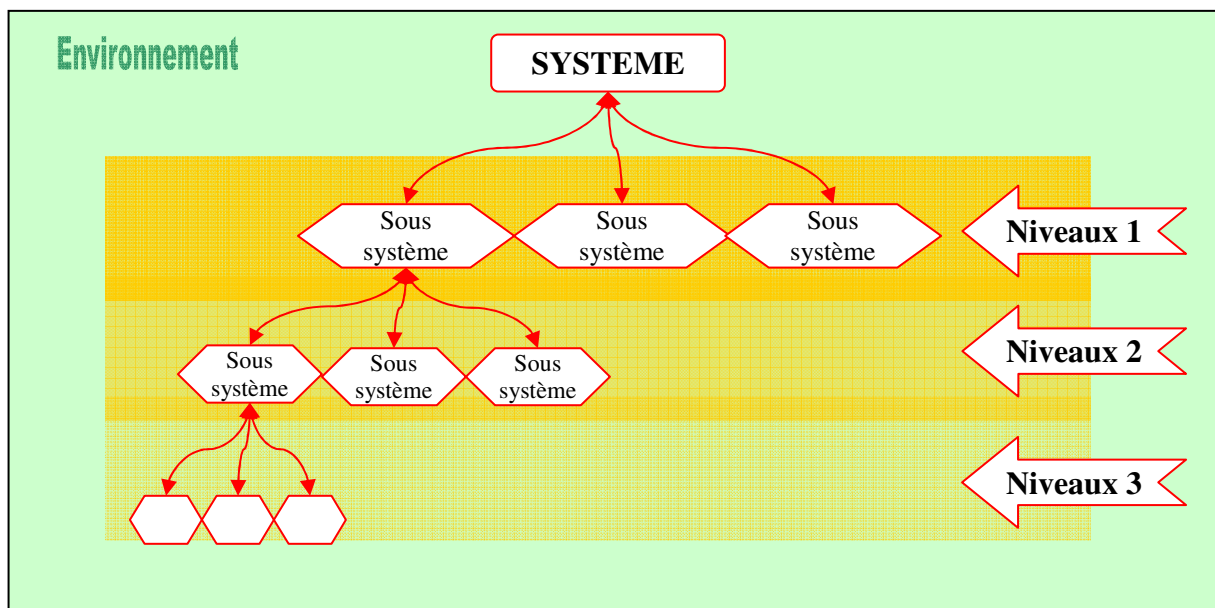


Figure 61: Organigramme d'un système à plusieurs niveaux

I.5.1 Système de production agricole

D'après **JOUBE Ph.** (in **PREVOST Ph.**, (1990)) : « *le système de production est l'ensemble structuré des facteurs de production combinés entre eux pour assurer une production végétale et/ou une production animale en vue de satisfaire les objectifs des responsables de la production* », cette notion, d'après **PREVOST Ph.** (1990), permet de caractériser le mode de fonctionnement de l'exploitation agricole et prend en compte :

- L'exploitation agricole et sa famille ;
- L'histoire et l'évolution de l'exploitation ;
- Les relations avec l'environnement : physiques et socioéconomiques ;
- Le système de gestion des moyens de production disponible : mobilisation et exploitation des moyens disponibles ;
- Le système technique de production : l'ensemble des différents processus techniques à l'origine de la production (choix du matériel végétal et animal, mode de conduite des cultures et animaux) ;

Chaque exploitation, souligne le même auteur, possède son propre système de production et malgré la spécificité des exploitations il est possible, d'après lui, de définir des grands types de système de productions :

- Le système polyculture élevage : les deux production végétale et animale sont présentes ;
- Le système céréalier : monoproduction, ou monoculture ;
- Le système d'élevage : la source de revenu est essentiellement la production animale même s'il existe une production végétale pour l'alimentation des animaux ;
- Les système spécialisés : des production végétale ou animale spécialisées (arboriculture, maraîchage,..)

Dans une orientation plus systémique, la définition précédente est donnée dans un cadre basic (les bases de l'agriculture), pour **BROSSIER J. (1987)**, le concept de système de production ne peut plus être séparé de la démarche systémique : parler de système de production ce n'est plus seulement prendre un objet d'étude utile dans une perspective microéconomique ou macro-économique, c'est insister sur une nouvelle démarche scientifique de résolution des problèmes. Il précise que dans le cas de l'étude des problèmes de l'agriculture des Pays en Voie de Développement, et spécialement en Afrique, on peut résumer l'intérêt de ce concept et de cette démarche :

- démarche holistique et compréhension des systèmes paysans (cohérence et logique des systèmes de production existants) ;
- l'exploitation agricole est vue comme un système (quels sont les acteurs de ce système, quelle est la définition de ce système ?) ;
- la cohérence des systèmes de production est accessible à partir d'une analyse fine du fonctionnement interne des systèmes : identification des pratiques et des séquences techniques;
- la recherche est donc fondamentalement pluridisciplinaire.

De même, les auteurs **DEVIENNE** et **WYBRECHT, (2002)** (*in* **COCHET H. et DEVIENNE S., (2006)**) donnent aussi une définition dans un cadre de modélisation systémique : Le terme de *système de production* indique que l'on s'intéresse à la fois à la structure, à l'organisation et au fonctionnement des exploitations agricoles : il s'agit de comprendre ce que font les agriculteurs, comment et pourquoi (comment combinent-ils plusieurs activités et pratiques agricoles au sein de leur exploitation, quelle est la rationalité de leurs pratiques, quelles sont les contraintes techniques et économiques auxquelles ils sont confrontés) et d'évaluer les résultats qu'ils obtiennent (performances techniques et résultats

économiques). L'objectif est de formuler des hypothèses quant aux perspectives d'évolution des exploitations et d'identifier et de hiérarchiser les problèmes rencontrés par les agriculteurs pour mettre en lumière les conditions auxquelles ils pourraient modifier leurs pratiques.

L'identification du système de production est un élément important pour la conception de toutes sortes d'*organisation fonctionnelles* ainsi l'adaptation des mécanismes à des intervalles d'utilisations variables limitées dans le temps et dans l'espace. **ALADAD HASAN, (2009)**

Le système de production est constitué d'un ou plusieurs systèmes de culture et/ou d'élevage, parfois de systèmes de transformation des produits à la ferme et de leurs inter-relations, liées à la répartition entre ces systèmes, des ressources rares de l'exploitation, terre, travail (inclus compétences), capital (intrants, matériel, bâtiments). **Anonyme FAO (1993)**.

La Figure 62, montre un diagramme simplifié d'un système de production agricole et les relations entre les différents éléments.

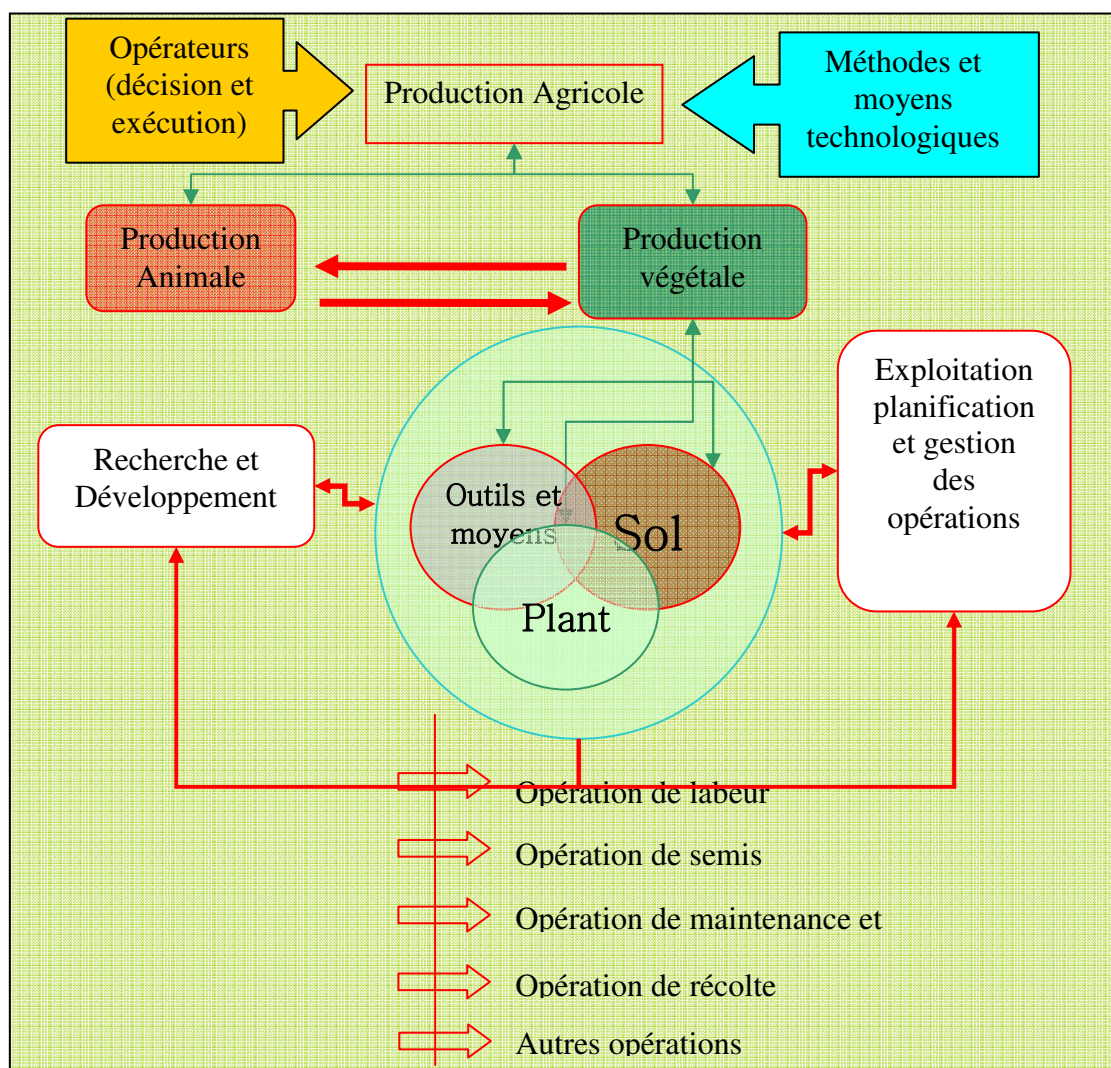


Figure 62: diagramme simplifié d'un système de production agricole

La gestion de ce système a deux aspects. L'exploitation dans le système de production permet de faire une combinaison orientée (labeur, apport d'engrais, semis, traitement phytosanitaire, récolte, stockage et autres opérations) entre les éléments du système, afin de réaliser une production, l'objectif est fixé par l'agriculteur ou bien par l'exploitant.

Lorsque il y'a un problème non résolu, l'exploitation passe a un autre aspect qui est la recherche et développement (ici s'intègre notre travail).

I.5.2 Eléments du système de production végétale

Chaque système, par définition, est composé d'un ensemble d'éléments en interactions dans un environnement évolutif ou actif ; un système de production végétale se compose principalement par : le sol, la plante et l'outils et/ou moyens (Figure 63)

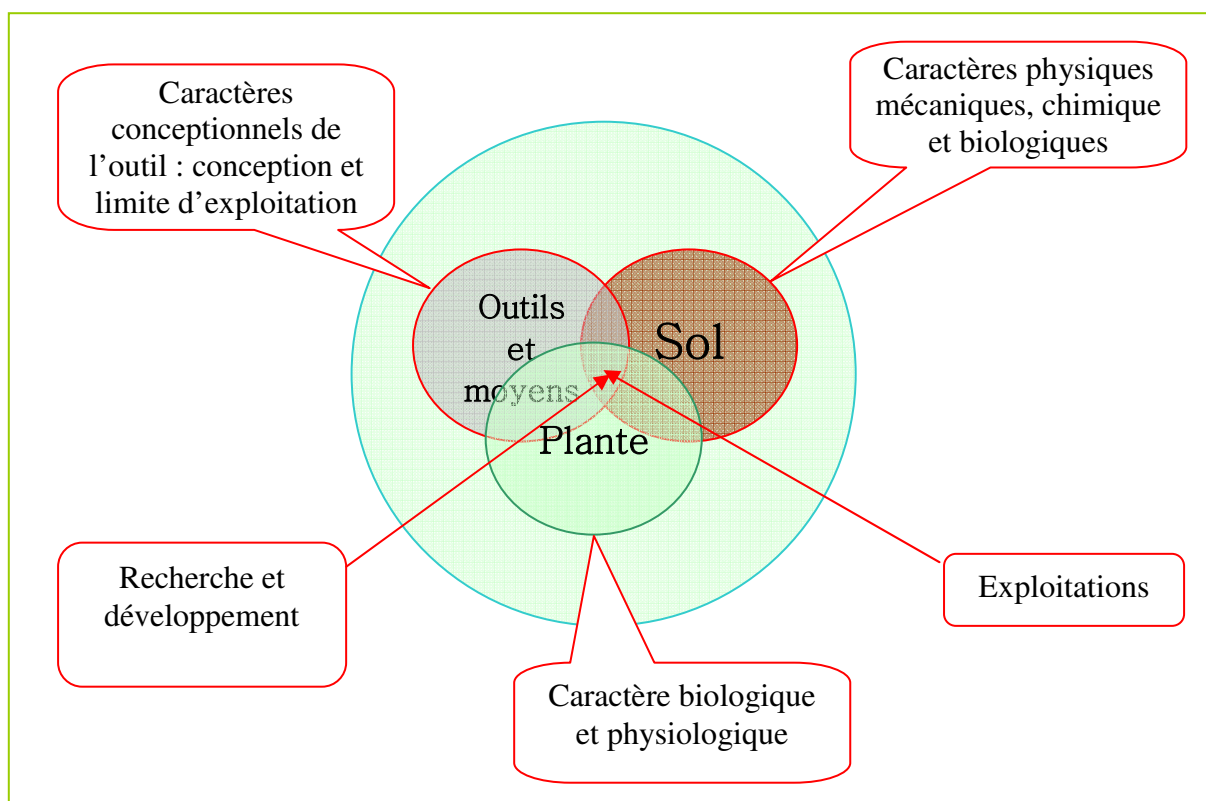


Figure 63: Représentation simplifiée d'un système de production végétale

Chaque élément influe sur l'autre d'une façon directe ou indirecte, cette influence est définie par des interactions, ces dernières sont conditionnées dans un environnement actif et évolutif. Plusieurs travaux de recherche ont été effectués, pour identifier les éléments et déterminer les interactions et l'effet de chaque élément sur l'autre.

Les problèmes d'interactions rencontrés à chaque étape d'un itinéraire technique ou bien des opérations agricoles dans la production agricole, sont l'objet de plusieurs travaux de recherche et développement, en ce qui nous concerne ce sont les problèmes d'interactions entre l'outils et les deux autres éléments : la plante et le sol.

I.5.3 Le caractère biologique et la solution mécanique

La description des plantes varie d'un domaine à l'autre, suivant la discipline on peut avoir : une description botanique, biologique, physiologique, technologique et autres en se basant sur des critères pertinents, qui permet donc l'indentification et la classification des espèces ou bien de différencier les différentes variétés.

L'utilisation des variétés qui ont un degré élevé de stabilité de performance et des potentialités de rendements en pluvial et sous irrigation de complément est d'une grande importance. Pour choisir une variété dans un milieu donné, plusieurs chercheurs sont souvent amenés à réaliser des analyses de stabilité ou d'interaction *génotype-milieu* selon différentes approches. Cette interaction peut être exploitée pour développer des variétés à adaptation spécifique (**BRANCOURT-HULMEL et al. (1997)**) ou à large adaptation (**ALLARD et BRADSHAW, (1964)**). (*in REZGUI M., 2000*).

La conception ainsi que l'utilisation des outils ou des machines, pour la mécanisation des opérations agricoles, prend en considération l'interaction *outils- caractère biologique* ; lorsqu'il s'agit de l'opération de récolte la question principale est : *comment récupérer le fruit (de nature et des caractéristiques définies) d'une plante (de nature et des caractéristiques définies) par voie mécanique ?*

En ce qui concerne le caractère biologique, l'objectif est de définir la plante en tant qu'une entité entière avec des caractéristiques physiques et géométriques bien définies, en d'autre terme définir la plante en grandeurs physiques et géométriques maîtrisables afin de simplifier les calculs de conception des outils ou des machine.

Il faut noter que les céréales font l'objet de cette étude, des travaux de recherche ont été réalisés dans cette orientation à des fins souvent biotechnologique et agroalimentaire et ne concerne qu'une partie de la plante qui est généralement le fruit à récolter ; les travaux qui

concernent le support lui-même de la plante figurent rarement dans le sens où les données et les résultats obtenus soient exploitables pour dimensionner des machines ou des outils de récoltes comme il est le cas des moissonneuses- batteuse, (les travaux dans la majorité se focalisent sur le fruit aussi, pour dimensionner les organe de battage et de nettoyage) .

Parmi les travaux qui ont traité la culture entière et les propriétés physiques et mécaniques des cultures on cite : **KANAFOJSKI CZ. et KARWOWSKI T., (1972)** *ont mentionné, dans leur livre sur la théorie de construction des machines de récolte l'importance d'une étude approfondie sur les caractéristiques physiques et mécaniques des cultures à récolter*, et **(BERRY P. M. & al, (2003) ; BERRY P. M. & al, (2004) ; BERRY P. M. & al, (2006))** *ont étudié le problème de la verse des cultures et les possibilités de modéliser le phénomène.*

En ce qui concerne le travail en cours, l'enjeu est d'identifier les parties exploitables de la plante, le rôle et l'intérêt de chaque organe dans l'interaction et dans une suite plus large le système de production lui-même. Cette identification est préconisée pour l'opération de récolte.

Seules, sont disponibles, les travaux de **KANAFOJSKI CZ. et KARWOWSKI T., (1972)** mais d'une extrême importance sur le plan de la recherche agronomique et développement du secteur du machinisme agricole et de l'agroéquipement sur le plan construction et plus profondément, la conception des machines agricoles en générale et les machines de récolte en particulier.

Les auteurs considèrent que les plantes récoltées par les machines (en particulier celles avec des tiges) sont soumises aux forces de traction, de flexion, de compression et de coupe. Ils invoquent aussi, que les concepteurs devraient connaître les propriétés physico-mécaniques des matériaux en question (machine-plante).

Ils ajoutent aussi que : *« Il convient de noter, toutefois, que cet ensemble de connaissances est encore rare à disposer que de petits textes, en particulier ce qui concerne les cultures avec une structure tiges creuses élastique ».*

Une céréale, le blé ou l’orge (comme exemples de référence), peut avoir cette configuration (Figure 64) : système aérien (tige, feuilles, épi, grains) et système souterrain (les racines)

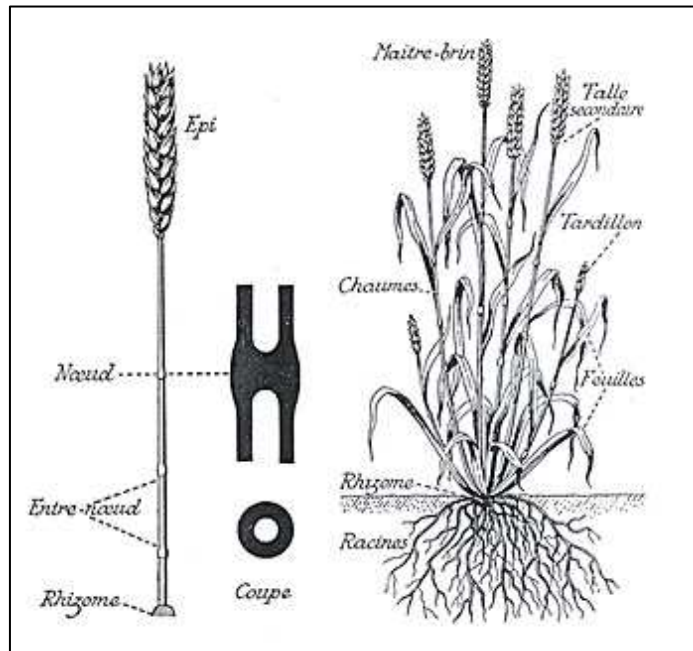


Figure 64: détails de la plante

Comme le montre la figure (65), la plante comporte plusieurs parties et chacune de ces dernières a un rôle à jouer; les racines enfoncées dans le sol jouent le rôle d’un encrage, la tige joue le rôle d’un support flexible porteur de l’épi, ce dernier enveloppe les graines à récolter.

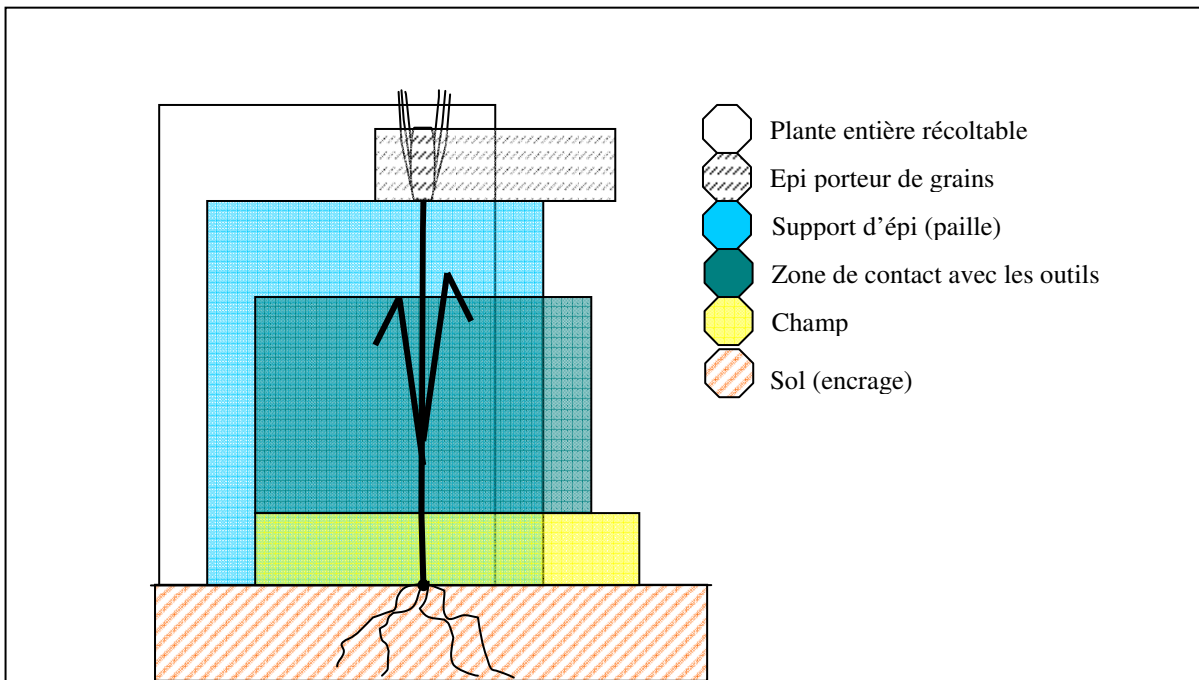


Figure 65: configuration de la plante prête a récolté

Sur ce plan on cite un extrait du livre « *la théorie de construction des machines de récolte* » de **KANAFOJSKI CZ.** et **KARWOWSKI T., (1972)** qui illustre cette vision :

« Lors du test de résistance des fibres de certaines plantes, telles que le lin ou le chanvre, il est apparu que la contrainte de traction maximale dans les limites d'élasticité est plus élevée que dans certaines nuances d'acier. La contrainte maximale dans les fibres de seigle, cependant, est deux fois plus petite. Fibres au-delà de la limite élastique, contrairement à l'acier, briser facilement. En d'autres termes, la déformation plastique de fibres sont minimales, à savoir, les plantes peuvent résister à la charge limite est de ne pas changer sa bonne forme et les dimensions.

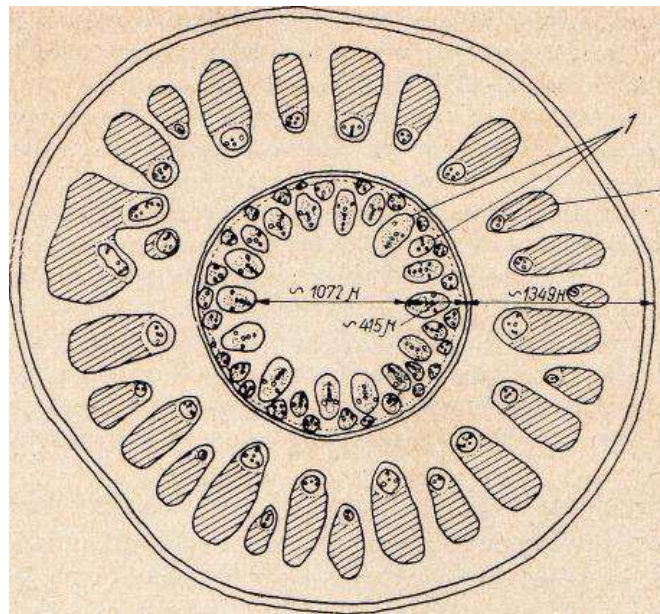


Figure 66: Coupe du nœud de blé tendre, **KANAFOJSKI CZ.** et al, (1972)

Les tiges et les nœuds des tiges (Figure 66) ne permettent pas le transfert réciproque entre fibres, ce qui augmente leur force. En examinant la plante dans son ensemble à une certaine hauteur, il convient de noter que la rigidité des nœuds diminue graduellement de bas en haut. De même, diminue la résistance à la rupture et au broyage... ».

L'interaction avec la machine est marquée par des contacts entre organes et parties, chaque partie possède des propriétés « mécaniques » à prendre en considération que ce soit dans l'exploitation de la machine (réglages, adaptation, moment d'exécution...) ou bien dans la conception (dimensions, techniques et performances..) et de la machine destinée à effectuer la tâche de récolte (le moissonnage et le battage).

Comme l'étude prend en considération l'opération de récolte, on peut déterminer ces contacts comme suit :

- Contact de rabattage ;
- Contact de coupe ;
- Contact de transport ;
- Contact de battage ;
- Contact de séparation et de nettoyage.

D'autres interactions sont à prendre en évidence, en relation avec :

- Etat de la culture (répartition spatiale et conduite de la culture, état de la verse « développée plus bas ») ;
- Conditions de travail (relation avec le sol et l'environnement).

La relation entre la machine et la plante englobe l'effet du caractère biologique et le concept de la solution mécanique, ce dernier fait ,en partie, le principal moyen de l'extension et l'augmentation de la production.

Les problèmes d'interaction se résument en une situation non désirée par les agriculteurs, les pertes de production.

II. OPERATION DE RECOLTE

La récolte d'une culture représente toujours pour l'agriculteur le moment crucial du constat de la réussite de la culture avec la conséquence financière qu'elle entraîne. Mais elle est également, au plan agronomique, la dernière étape de la conduite de la culture et sa réalisation nécessite le respect de certaines conditions : choix du meilleur stade de récolte, condition climatique et utilisation de matériels spécialisés. (**PREVOST P., (1990)**).

La moissonneuse batteuse est la machine ou la pièce maîtresse, pour effectuer cette opération sensible.

II.1 Fonctionnement général de la moissonneuse batteuse

La moissonneuse batteuse est le moyen mécanique par le quel l'agriculteur peut récupérer les grains de céréales et autres cultures à graines (tournesol, colza, graines fourragères...), cette machine permet de réaliser en un seul passage sur le champ la moisson et le battage, deux principales opérations autrefois réalisées successivement et manuellement et d'une façon très pénible.

Faisant référence au premier chapitre « l'évolution technologique des moissonneuses batteuses, évolution d'un concept », dont on a abouti à retracer un aperçu sur les différentes étapes de la progression du concept de « solution mécanique », cette solution a permis de regrouper un ensemble d'éléments et concepts pour que cette machine aie une caractéristique fondamentale à l'image d'une agriculture moderne en assurant la tâche de récolte.

Une moissonneuse-batteuse est une machine agricole automotrice utilisée pour la récolte de plantes à graines, et en particulier des céréales.

La moissonneuse batteuse est le fruit de la fusion de deux concepts : la moisson (le moissonnage) et le battage ; obtenir des grains de céréales (ou autres plantes à graines) consistait à faire séparément ces deux opérations le moissonnage et le battage.

La moisson consiste à couper les plantes, les tiges plus les épis ou bien seulement les épis, cette coupe était manuelle, puis par des outils de coupe, les tiges en générale sont groupées en gerbes ou en andains puis présentée au battage.

Le battage consiste à séparer les grains de la plante (tiges+épis) par plusieurs méthodes, mais le principe était le même, c'est d'exercer une force (pression) sur l'épi afin de libérer les grains (caryopse) enveloppées par des parois épaisses ouvrables (Blé) ou bien attachés seulement au rachis (Orge). Cette séparation comprend aussi la notion du nettoyage.

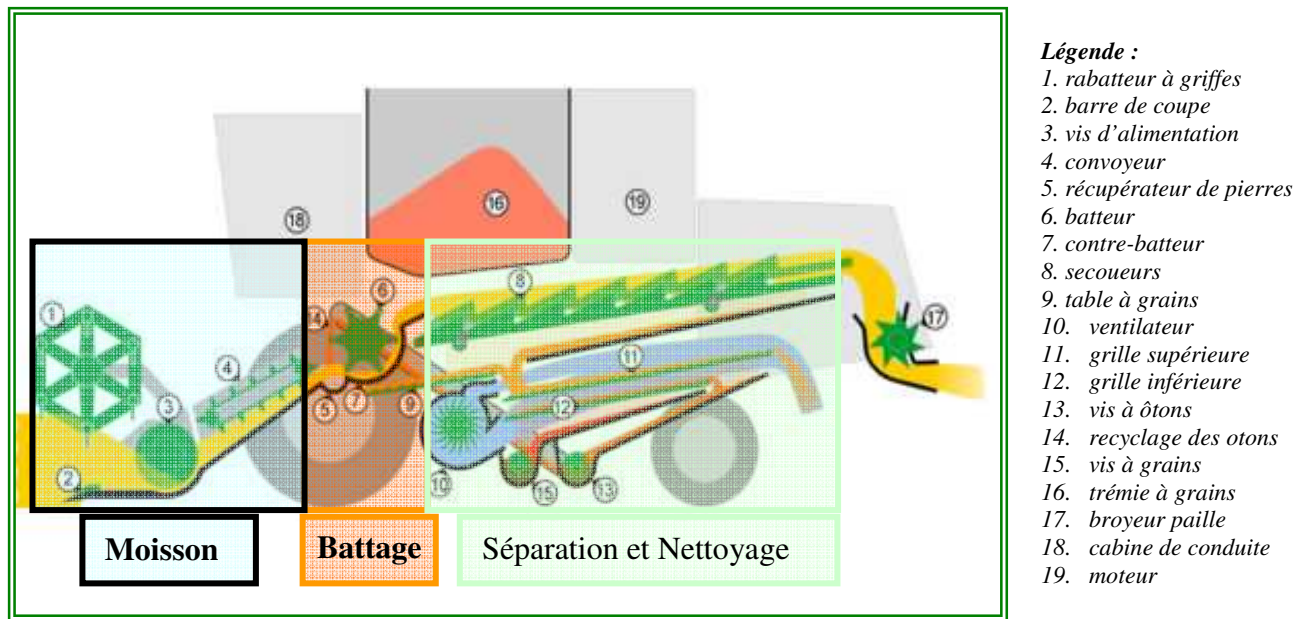


Figure 67: les fonctions de la moissonneuse batteuse moderne. (Anonyme 2, 2007)

La figure (67) résume et montre les principales composantes d'une moissonneuse batteuse et les différentes opérations qu'elle peut assurer, on distingue trois (03) zones d'opérations assurées:

- Un système de moissonnage assurant la moisson : le tablier de coupe
- Un système de battage : batteur contre batteur ;
- Un système de séparation et nettoyage : secoueurs, ventilateur, grilles... ;
- Un système de stockage (trémie) ;

Ces systèmes fonctionnent à l'aide de d'autres systèmes qui assurent l'animation et la gestion :

- L'énergie et sa transmission aux différents organes ;
- Transport du flux de la récolte dans les diverses orientations ;
- Mécanismes de régulation et d'adaptation pour la gestion des opérations.

Cette architecture donne déjà un aperçu sur le fonctionnement global, comprendre la théorie de fonctionnement implique des connaissances multidisciplinaires, car la conception de cette machine tiens en compte cette de notion de « pluridisciplinaire ».

On s'intéressera à la moisson, qui est la fonction du tablier de coupe et la partie visée par l'étude.

II.2 Théorie de la moisson (préparation au battage)

Le processus de la moisson mécanique est une imitation proche de celui effectué manuellement, la plante est maintenue, dirigée puis coupée avant d'être transportée au

battage. **KANAFOJSKI CZ. et al, (1972)** donnent une explication de la théorie de fonctionnement basé sur la cinématique des organes.

On a déjà mentionné, que pendant de la moisson il y a lieu de 3 contacts entre les organes de la machine et la plante à récolté :

- Contact de rabattage ;
- Contact de coupe ;
- Contact de transport ;

Cette phase est réalisée par le tablier de coupe, ce dernier regroupe un ensemble de pièces qui réalisent les étapes sises citées. Mais il y a une diversité dans le fonctionnement, sauf que le principe fondamental de la moisson reste le même.

On a mentionné (chapitre 1) qu'il y a deux types de tablier de coupe cette typologie est définie par le mode de coupe ou bien plus précisément la hauteur de coupe :

- Tablier de coupe à coupe basse (récolter la plante presque entière : paille+grains) ;
- Tablier de coupe à coupe haute ou récolteur d'épis ;

Cette différenciation, est une différenciation d'objectifs des agriculteurs, les concepteurs choisissent les organes et les pièces ainsi que les mécanismes nécessaires pour réaliser une coupe (moisson) selon la demande.

II.2.1 Composition standard du tablier de coupe.

La description donné, est caractéristique d'un tablier de coupe a hauteur réglable menu d'un rabatteur ; cette catégorie est destinée pour les plantes comme les céréales, et les oléoprotéagineux. Un tablier de coupe est composé de plusieurs organes (Figure 68) :

- organes de manutention et pilotage du flux de la récolte : le rabatteur, les diviseurs, le tapis roulant et la vis d'alimentation.
- organes de coupe : essentiellement la barre de coupe.
- organes d'animation et de positionnement et d'ajustement : un moteur pour tourner le rabatteur, un moteur pour faire fonctionner la lame de coupe ; des positionneurs du rabatteur et pour le tablier de coupe (des vérins hydraulique ou mécanique).

Tous ces systèmes sont montés sur un bâti qui joue, aussi, le rôle d'une table de réception. Il faut noter aussi que dans le cadre d'une agriculture de précision, il y a d'autres organes de gestion et de contrôle de hautes technologies ont été ajoutées intégralement non seulement au tablier de coupe mais à plusieurs niveaux de la machin.

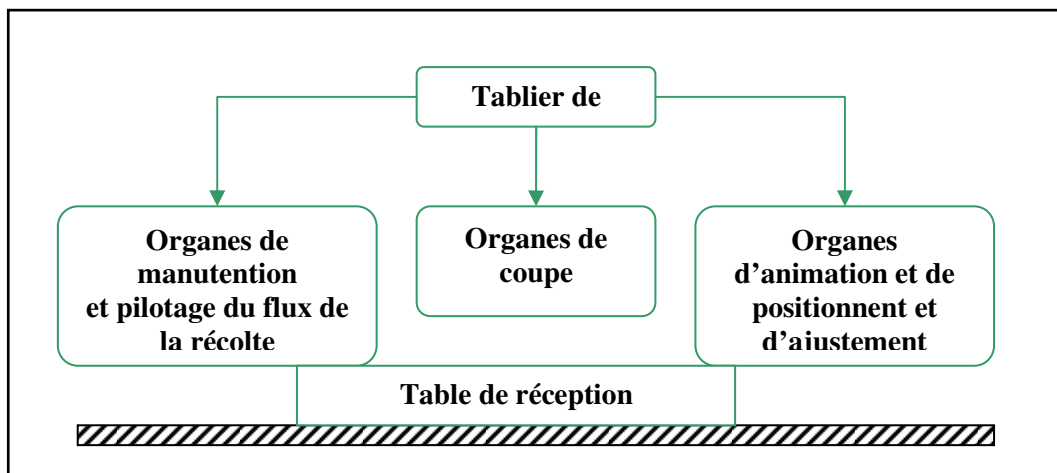


Figure 68: composants standards d'un tablier de coupe

Description des principaux organes du tablier de coupe (Figure 69) :

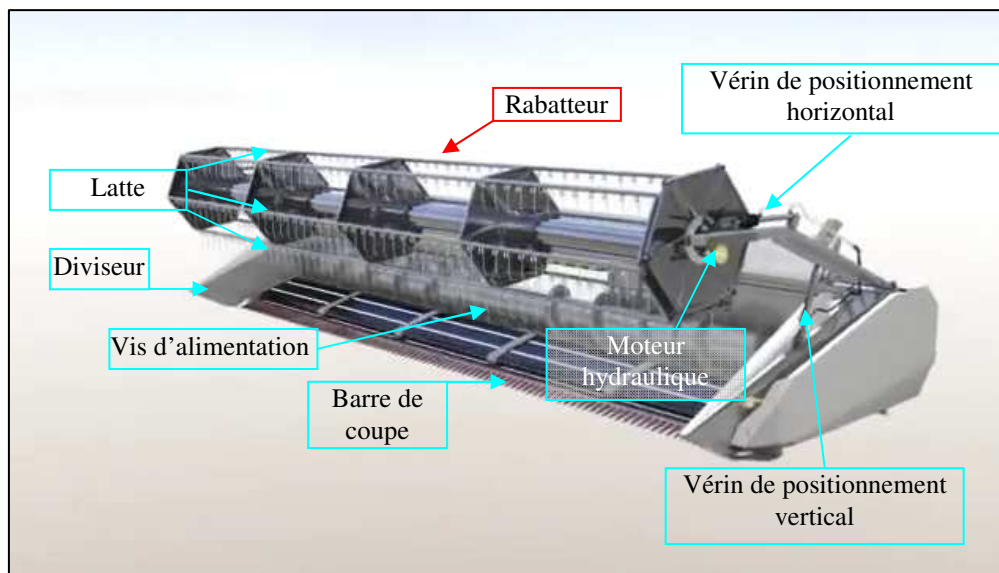


Figure 69: Tablier de coupe à coupe basse

- **Table de réception** : elle à la fois le bâti du tablier de coupe et le lieu de réception des tiges coupées et rabattues.
- **Diviseur** : chacun des organes situés des deux côtés de la barre de coupe pour séparer la bande à couper du reste de la récolte.
- **Barre de coupe** : organe comportant une lame métallique à sections biseautées et de hauteur réglable, servant à couper les tiges d'une culture sur pied.
- **Rabatteur** : organe rotatif placé au-dessus de la barre de coupe, qui couche et maintient les tiges pour les pousser vers la vis d'alimentation.
- **Latte** : chacune des barres dentées qui tournent autour de l'axe transversal du rabatteur.
- **Griffes** : chacune des pointes de la batte qui sont dirigées vers le sol pour rabattre les tiges des plantes.

- **vis d'alimentation** : double tige hélicoïdale rotative destinée à rassembler la récolte au centre du tablier pour l'introduire dans l'engrenneur.

II.3 Principe de fonctionnement

KANAFOJSKI CZ. et al, (1972), ont donné une explication du principe de fonctionnement du tablier de coupe en se basant sur la cinématique des organes (comme il la fait pour la théorie de fonctionnement de la moissonneuse batteuse), cette explication prend en considération la cinématique du rabatteur par rapport à l'ensemble de la machine ; il considère le rabatteur comme étant un arbre tournant au tour d'un axe fixe sur le tablier de coupe et que l'ensemble machine translate par rapport au sol, ce mouvement combiné « rotation – translation » permet d'effectuer le processus de moisson.

II.3.1 Cinématique du rabatteur :

Le rabatteur est un organe important dans le genre des tabliers à coupe basse réglable, il est utilisé pour rabattre les plantes à récolter pour la coupe et la réception.

Le rabatteur se compose d'un arbre sur le quel sont fixées des lattes par des bras ou bien des disque polygonaux, le nombre des lattes varie d'une architecture à une autre généralement entre 4 et 6, le plus répandu est le rabatteur à 6 lattes (Figure 70)



Figure 70: rabatteur à quatre (04) lattes et rabatteur à six (06) lattes

Etudier la cinématique du rabatteur revient à étudier celle d'un cylindre en mouvement composé : rotation et translation. La rotation est assurée soit par un moteur hydraulique soit

par transmission mécanique (chaîne ou courroie) du mouvement généré par le moteur de la machine. La translation est é le déplacement de la machine dans le champ de la culture a récoltée.

Pendant le travail, le rabatteur est positionné verticalement et horizontalement suivant les conditions de la culture (réglages et adaptation) à des valeurs appropriées (Figure 71) :

- Position verticale (S) par rapport à la barre de coupe ;
- Position horizontale (H) par rapport à la barre de coupe ;
- La barre de coupe à une position h par rapport au sol.

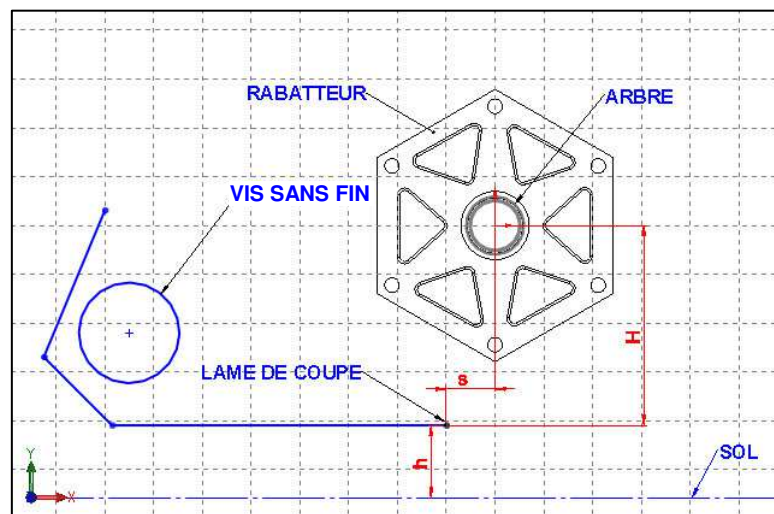


Figure 71: Positionnement du rabatteur

La trajectoire des latte est une cycloïde raccourcie (Figure 72) :

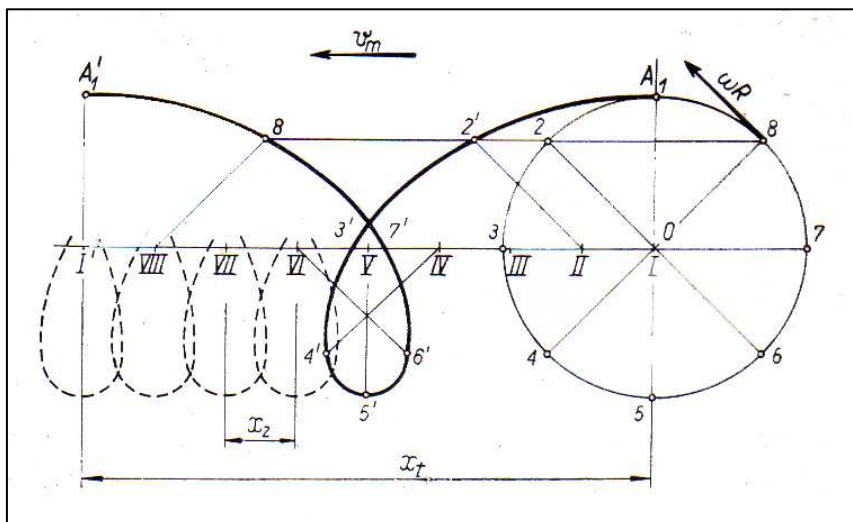


Figure 72: la cinématique du rabatteur (illustration donnée par KANAFOJSKI CZ. et al, (1972)).

Après un temps (t) nécessaire pour faire une rotation autour de l'axe de l'arbre du rabatteur avec une vitesse angulaire (ω) et une translation (x_t), la distance parcourait par la machine à une vitesse (V_m), cette distance est donnée par l'équation suivante :

$$x_t = V_m \cdot t = V_m \cdot \frac{2\pi}{\omega} = V_m \cdot \frac{2\pi R}{\omega R}$$

- V_m : vitesse d'avancement de la machine en (m/s) ;
- t : temps pour réaliser un tour (s) ;
- ω : Vitesse angulaire du rabatteur en (rd/s) ;
- R : rayon du rabatteur en (m) ;
- ωR : vitesse périphérique des lattes du rabatteur (m/s).

Le produit (ωR) représente la vitesse linéaire (V_r) (ou vitesse périphérique) des lattes. Le rapport entre cette vitesse et celle de l'avancement du système globale représente un coefficient appelé le *coefficient cinématique* λ donné par l'équation suivante :

$$\lambda = \frac{\omega R}{V_m} = \frac{V_r}{V_m}$$

Ce rapport est essentiel pour un bon fonctionnement de l'opération de récolte, choisi en fonction des exigences de la culture et de son environnement.

Les valeurs de ce coefficient sont déterminées empiriquement par des essais sur terrains.

L'équation globale devient :

$$x_t = V_m \cdot \frac{2\pi R}{\omega R} = \frac{2\pi R}{\lambda}$$

La distance parcourue par deux lattes successives (x_z) (Figure 72) vaut :

$$x_z = \frac{x_t}{z}$$

Ou : z : nombre de la lattes.

Le volume v de la récolte engendré par une latte peut être calculé à partir de (x_z) , la largeur du travail (l_c) (qui correspond à la longueur totale de la barre de coupe) et la hauteur des tiges (h_i).

$$v = x_z \cdot l_c \cdot h_i$$

KANAFOJSKI CZ. et al, (1972), dans l'explication du principe de fonctionnement du système, en se basant toujours sur la cinématique, donne des formules pour déterminer les positions des lattes. (Figure 73)

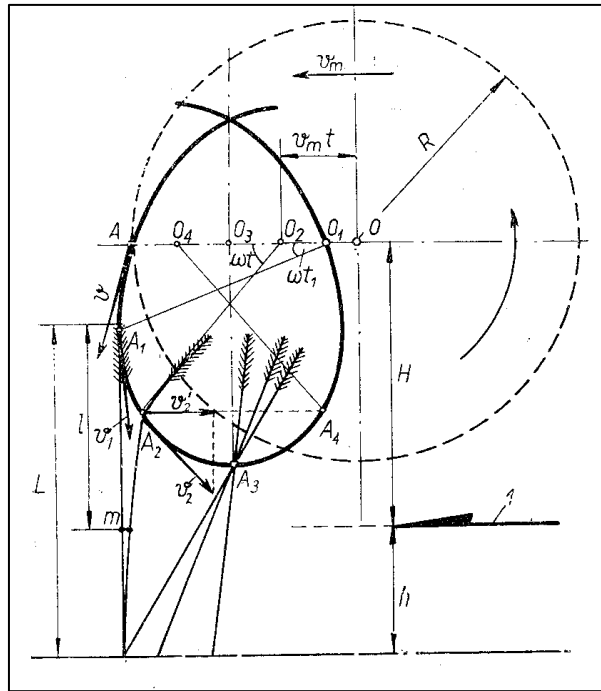


Figure 73: Paramètres de position d'une latte (**KANAFOJSKI CZ. et al, (1972)**)

▪ **Illustration** (Figure 73) :

L : hauteur de la plante ; l : distance au centre de gravité de la plante (m) ; $O_1...O_2$: positions successives de l'arbre du rabatteur ; A_2A_4 : longueur de la partie active de la boucle, H : hauteur du rabatteur par rapport à la barre de coupe ; h : hauteur de coupe ; $v_1 v_2 v_3$: vitesses périphériques des lattes du rabatteur pour les positions successives de l'arbre, I : organe de coupe.

En se référant aux positions successives O_1, O_2, O_3 que peut prendre l'arbre du rabatteur pour une même portion de plantes, les coordonnées du point A_2 (matérialisé par une latte) sont exprimées de la manière suivante :

$$\begin{cases} x = OO_2 + R \cos \alpha = V_m t + R \cos \alpha \\ y = H + h - r \sin \alpha \end{cases}$$

Dont :

H : hauteur de position de l'arbre du rabatteur par rapport à l'organe de coupe ;

h : hauteur de l'organe de coupe par rapport au sol.

Les composantes de la vitesse des lattes sont :

$$\begin{cases} v_x = \frac{dx}{dt} = V_m - R \omega \sin \omega t \\ v_y = \frac{dy}{dt} = -R \omega \cos \omega t \end{cases}$$

On peut déterminer la position de l'axe du rabatteur au dessus de l'organe de coupe :

$$H = L - h + R \sin \omega t = L - h + \frac{R}{\lambda}$$

L : hauteur moyenne des tiges;

h : hauteur de coupe.

Au moment (t_c) du contact de la latte avec les épis, la vitesse V_m (vitesse d'avancement) doit être inférieure ou égale à la V_r (vitesse périphérique du rabatteur), constitue une condition nécessaire pour rabattre les épis : la composante v_x doit être nulle ou négative

$$\begin{aligned} V_m - R \omega \sin \omega t_c &\leq 0 \\ \Rightarrow V_m &\leq R \omega \sin \omega t_c \end{aligned}$$

$V_m < R \omega$ constitue une condition nécessaire pour rabattre les épis (avant quelle soient coupées).

Le rayon et la vitesse périphérique des lattes doivent être choisis de façon à ce que les touffes de céréales ne soient ni trop grandes, ni trop petites.

Dans le premier cas (culture dense), le bourrage des organes de coupe se produit facilement, dans l'autre cas (culture assez claire) la machine est sous utilisée, et il y a des tiges qui échappent à la coupe. Ces inconvénients peuvent être éliminés en choisissant des valeurs appropriées de λ .

Une récolte de blé versée nécessite une action plus énergique des lattes d'où leur vitesse tangentielle élevée mais l'augmentation exagérée de cette dernière provoque des pertes considérables par égrenage (surtout quand le grain est très mûr). Comme la moissonneuse-batteuse travaille dans des conditions très diverses, on ne peut ni fixer la vitesse optimale des lattes ni la valeur optimale de λ . C'est pourquoi en pratique, on rencontre des rabatteurs à différents nombres de lattes et de valeur λ . Selon **GOC. M (1976)** (*in* **KACI F. (2007)**) le coefficient cinématique λ doit être égal à (1,2 ou 1,3) pour des cultures dressées.

III. LES PERTES EN GRAINS

La récolte mécanisée engendre des pertes en grains d'une façon inévitable, ces pertes représentent, lorsqu'elles sont trop importantes, un échec de l'opération de récolte et parfois la campagne agricole toute entière.

Les causes et la nature de ces pertes font l'objet de plusieurs études afin de remédier le problème ou au moins diminuer l'ampleur de ces pertes. La réaction des acteurs du domaine, suit deux voies :

- Une réaction instantanée sur le champ relative aux réglages et à l'adaptation de la machine à la situation présente, ce qu'on peut appelé exploitation des fonctionnalités de la machine d'une façon correcte et sans affecter la conception de la machine.
- Retour d'information « feedback », les auteurs intervenant sont plus spécialisés et cette réaction aura lieu lorsque la première ne donne plus de résultats positifs, ici il s'agit de « limite d'exploitation de la machine » et elle affectera la conception de la machine.

III.1 Classification des pertes en grain

Lors de l'évolution d'une moissonneuse-batteuse sur le terrain le contact, entre la plante et les différents organes (responsables de l'extraction des grains du reste de la plante), engendre des pertes qu'on peut classer (KACI F., 2007) donc suivant leurs origines comme suit (Figure 74) :

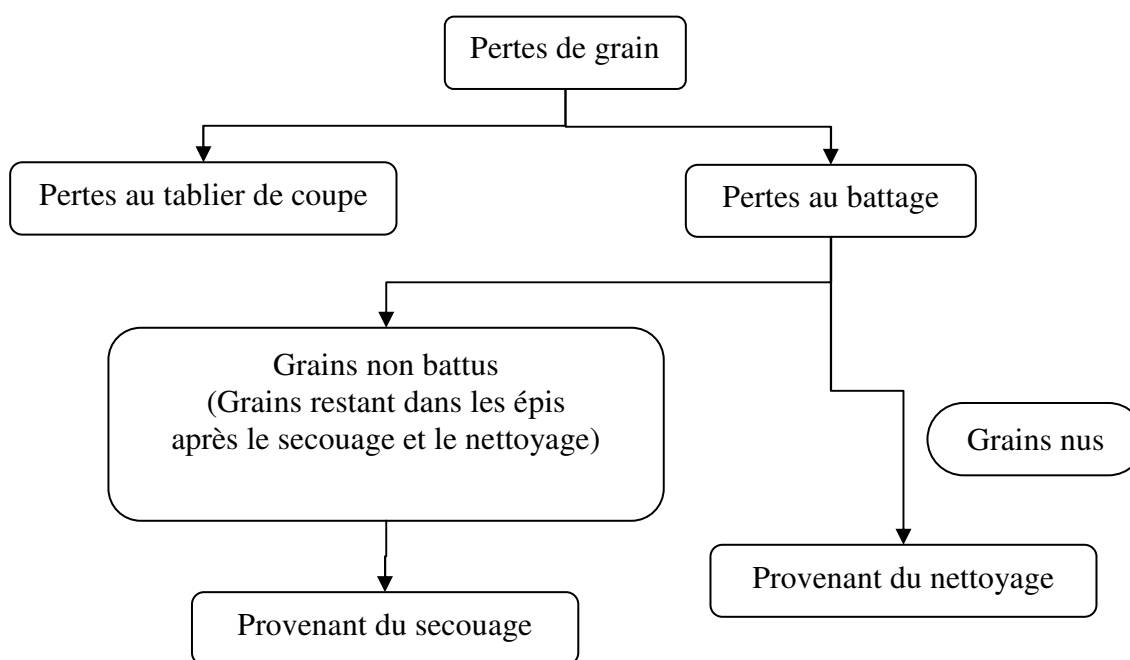


Figure 74: Ensemble des pertes en grains dans la moissonneuse batteuse.

Ces pertes peuvent aussi avoir une autre classification qui tienne compte la nature de la perte :

- **Perte quantitative** : c'est la quantité des grains (estimer en poids) perdu à chaque niveau de l'enchaînement de l'opération dans la moissonneuse batteuse. Et on peut ajouter l'ensemble des grains laissés derrière la machine : soit des tiges non récoltées ou bien des épis non battus.
- **Perte qualitative** : cette dernière représente essentiellement l'état du grain récolté, c'est-à-dire le concassage et l'impureté de l'ensemble des grains récoltés, cette perte peut être attribuée directement à des organes précis de la machine (organes de battages, de séparation et de nettoyage).

Nous avons adapté une autre classification à notre étude :

- **Classe des Pertes dues à une mauvaise exploitation de la machine** : regroupe l'ensemble des erreurs commises dans les réglages et l'adaptation aux conditions de la culture et les conditions relatives au déroulement normal de l'opération de récolte, cette classe prend en considération le fait que la machine possède déjà toutes les solutions fonctionnelles opérables et toutes les possibilités d'adaptations aux situations qui présentent.
- **Classe des Pertes dues à une limite d'exploitation de la machine** : ces pertes proviennent essentiellement de l'incapacité de la machine à effectuer sa fonction proprement, les solutions fonctionnelles à certaines situations sont limitées (inadaptation et limite d'exploitation) ...

III.2 Les pertes au tablier de coupe

Le rôle principale du tablier de coupe est de recueillir une partie de la plante qui renferme le fruit qu'on souhaite récupéré, les grains dans le cas des céréales sont renfermés dans une structure appelée « épi » ce dernier est porté par une tige de longueur définie.

Le rabatteur est le premier élément du tablier de coupe et de la machine qui entre en contact avec la plante (mis à part les diviseurs et les releveurs ou bien les cultures qui ne nécessitent pas l'intervention du rabatteur ou autre mode de moisson), le rabatteur doit rabattre les tiges à la coupe et les faire tomber dans la table de réception (grâce aussi à l'avancement de la machine) afin qu'elles soient dirigées aux système de battage.

Le rabatteur, par le contact direct avec la plante, engendre des pertes par choc et frottement ou bien les tiges ne sont pas dirigées d'une manière correcte à la coupe, puis à la réception sur

toute la largeur de travail. (La combinaison des réglages n'est pas correcte : rapport des vitesses et positionnement des organes).

Les pertes sont généralement d'ordre quantitatif, elles peuvent être évitées ou minimisées à des valeurs admissibles si les réglages sont corrects, ainsi que si la conception de la machine permet une large gamme d'adaptations aux situations difficiles ces dernières sont liées à l'état de la culture sur le terrain. **KACI F. (2007).**

L'une des conditions préalables pour une bonne moisson est l'état de redressement des tiges, la plante doit être verticale le plus possible. Lorsque cette condition est rompue le cas le plus représentatif de cette situation est la verse des cultures. Les pertes sont visibles rapidement après le passage de la machine par des épis remplis de grains laissés sur le terrain.

III.3 La verse des cultures

La verse est le processus par lequel les pousses (tiges) des céréales à petits grains se déplacent de leurs positions verticales d'une manière irréversible et permanente. Cela se produit généralement après l'apparition des épis «stade floraison du cycle biologique des céréales », les pousses se penchent d'une façon permanente ou couchent horizontalement sur le terrain.

Ce phénomène peut avoir lieu 2 ou 3 mois avant la récolte et se produit à travers des interactions entre la plante, le vent, la pluie et le sol. Il peut être sous deux formes, soit un flambement des tiges (verse des tiges) soit un déplacement des racines dans le sol (verse des racines).

La verse devient moins importante aux stades plus avancés du cycle biologique (Figure 75) (**BERRY P. M. & al, (2004).**)

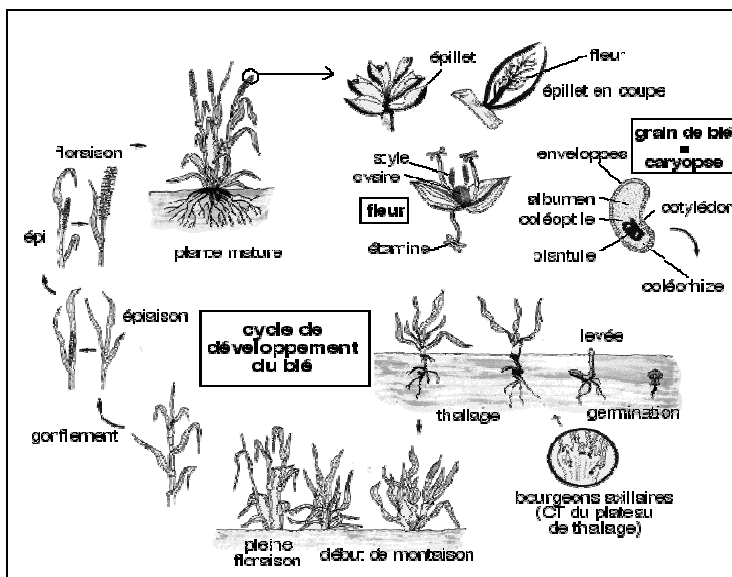
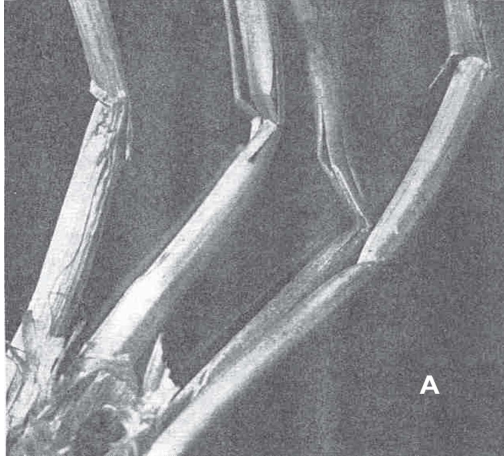


Figure 75: cycle biologique de blé (Anonyme 9, 2008)

La verse des tiges (*stem lodging*) aura lieu quand les racines sont encastrées solidement dans un sol sec et sous la force du vent les tiges cèdent au niveau de l'un des noeuds inférieurs. Ou bien une déformation plastique dans les zones les plus faibles des pousses (Figure 76) :



Vue rapprochée aux nœuds inférieurs
Laude & Pauli, (1956) in Berry P. M. & al,
(2004)).



Verse des tiges d'orge d'hiver (Berry P. M.
& al, (2004))

Figure 76: les cas d'une verse de tiges.

La verse des racines (*root lodging*), s'aperçoit lorsque le système racinaire n'est pas bien développé et si le sol est humide, l'encrage ne tient pas et les pousses chutent. (Figure 77)



Figure 77: une verse racinaire de l'orge d'hiver (BERRY P. M. & al, (2004))

La verse constitue un facteur limitant majeur sur la production mondiale de céréales, elle peut réduire les rendements jusqu'à 80% sur le plan quantitatif et qualitatif, elle ralentisse considérablement l'opération de récolte.

Malgré l'apparition des variétés naines et des solutions phytotechniques (régulateurs de croissance des plantes « *plant growth regulators (PGRs)* » et la diminution l'apport en fertilisant azoté) la culture ne reste pas à l'abri de la verse, des études récentes ont montré que ce problème existe toujours, une analyse des effets de plusieurs gènes de nanisme sur le rendement du blé par **FLINTHAM et al. (1997)**(in **BERRY P. M. & al, (2004)**) a montré que la hauteur minimale de la culture pour un rendement optimal est 0.7m et l'utilisation *PGR* est devenue restreinte a cause des résidus de « *chlorméquat* » détectés dans les cultures traitées (**JUHLER et VAHL, (1999)** in **BERRY P. M. & al, (2004)**). D'après **BERRY P. M. & al, (2004)** des stratégies de substitution pour réduire le risque de la verse des céréales doivent être recherchées.

D'une manière générale lorsque les tiges ne supportent pas les sollicitations mécaniques, les zones les plus faibles de la structure des tiges (*caractère biologique*) cèdent et la culture se présente en une nouvelle situation et les paramètres à prendre en considération dans l'interaction avec la machine (*conception de la machine*) à la récolte changent aussi (*problème d'interaction plante-machine*).

Les pertes en grains par la verse augment proportionnellement avec l'angle de courbure, une verse à 45° cause une perte de un quart du rendement et la moitié à 80° d'inclinaison dans le blé (**FISCHER et STAPPER, 1987**) et l'orge (**SISLER et OLSEN, 1951**) et l'avoine (**PENDLETON, 1954**) ; la verse devient moins importante aux stades plus avancés du cycle biologique (in **BERRY P. M. & al, (2004)**).

Le problème d'interaction sera traité dans la deuxième partie de ce travail au niveau de l'analyse du problème. Au moment de l'élaboration des mécanismes de moisson et le dimensionnement des organes de coupe les tiges sont supposées verticales, mais dans notre cas cette condition est interrompue.

CONCLUSION

L'effort fourni et les moyens utilisés étaient des facteurs limitants pour l'extension des surfaces cultivables ; dès que les premières tentatives d'apporter des changements sur les pratiques et les moyens utilisés, la surface exploitée ne cesse d'augmenter légèrement, la grande pulsion a été donnée par les premières formes de mécanisation des opérations agricoles, et c'est la motorisations de ces mécaniques qui a fait déclencher une révolution dans le domaine agricole. L'exploitation devient plus organisée et plus productive, et la recherche plus approfondie ; l'amélioration et la recherche de nouvelles solutions plus efficaces aux problèmes rencontrés dans cette nouvelle ère de production à grande échelle, deviennent une pratique vitale pour la continuité de l'évolution.

Le premier chapitre dévoile une partie de l'évolution des outils, des dispositifs et des machines de récolte ; La mécanisation de la moisson et du battage étaient pour l'homme un moyen approprié pour la récolte des céréales, plusieurs méthodes ont été suivies pour en arriver à séparer les grains de leur endroit d'origine ; les premiers mécanismes dépendaient totalement des actions et des mouvements de l'homme mais par suite, avec les premiers dispositifs qui ressemblent de plus en plus à des machines toutes les actions de l'homme ont été remplacées.

Le développement s'est fait en deux étapes, dans la première, la moisson a été complètement séparée du battage, les travaux de conception sont orientés vers la reprise de toutes les actions manuelles que l'homme exerce dans la moisson et le battage ; la récolte était conditionnée sous forme de gerbes facile à transporter au poste de battage.

Le plus grand progrès technologique atteint dans cette première étape est la construction de la *moissonneuse – lieuse* et de la *batteuse mobile*. Les organes élémentaires : système de coupe table de réception, rabatteurs ont été déjà conçus à cette étape et ceux des dispositifs de battage ont atteint un perfectionnement avancé.

La deuxième étape, la plus importante dans l'histoire de la mécanisation de la récolte, est la combinaison entre les deux concepts, le résultat était : une nouvelle orientation du développement des machines et de nouvelles approches appliquées aux modes de mécanisation qui permettent d'ouvrir d'autres voies pour l'exploitation des dispositifs du moissonnage-battage. La mise en ouvre du moteur à combustion, a permis progressivement une exploitation facile ; les apports des autres domaines scientifique et technologique ont permis aussi le perfectionnement des machines combinées (*moissonneuses – batteuses*).

Les contributions ingénieuses de plusieurs personnes durant des siècles, ont fondé les principes de base de la récolte mécanique, la plus importante de ces contributions est le système de moissonnage (système de coupe et le mode de préparation au battage). les premiers travaux semblent être anarchiques à nos yeux et que le perfectionnement à emprunter une fausse direction (*moissonneuse lieuse*), ou une bonne direction (*récolteuse d'épi*), mais ces travaux ont permis de faire les liens entre les organes de la machine et la plante et de faire aussi des schémas fonctionnels de plusieurs dispositifs, en gardant et en appliquant les principes fondamentaux de la récolte ; lorsque qu'il y a une profondeur et une organisation dans les travaux de conception (*pour attendre un objectif plus loin*) les résultats apparaissent plus influents dans l'évolution et sur le concept lui-même (*la combinaison des deux concepts*), ceci par l'élargissement du rayon d'observation et la mise en jeu de nouvelles approches qui structurent d'une façon plus déterminante les liens entre la machine et la plante (*les interactions*) et par conséquence la structuration des travaux de conception et d'amélioration des concepts de base de la récolte mécanique.

Aujourd'hui, les acteurs du domaine de la conception ciblent : la puissance, la précision, la rentabilité et une plage d'adaptation plus grande, cette dernière reflète les performances et les fonctionnalités des machines sur le terrain ; ces points recherchés font l'objet de profondes études par la mise en service des moyens autre fois inexistantes plus méthodiques, objectifs et rapides.

Le deuxième chapitre de cette partie bibliographique est réservé aux connaissances préliminaires concernant le domaine de la conception tel qu'il est vu aujourd'hui, et les démarches et les méthodologies employées pour la résolution des problèmes de conception en général ; en tirant et en adaptant toutes les définitions et les modalités à notre domaine.

Depuis les premières tentatives de concevoir des dispositifs de récolte (ou autre outils des autres opérations agricoles), l'interaction entre la machine et la plante est l'une des préoccupations les plus importantes des concepteurs, concevoir un mécanisme découle d'une bonne compréhension des actions qu'il doit réaliser en s'adaptant systématiquement à la plante. Cette adaptation nécessite impérativement une profonde connaissance sur la plante. La solution mécanique tient compte du caractère biologique, le mécanisme est défini à partir de cette interaction ainsi que toutes ses caractéristiques géométriques et physiques.

La notion d'interaction a été traitée d'une manière détaillée en appliquant la définition du *système* dans la production agricole. Cette application nous a conduit à identifier les niveaux ainsi que les éléments qui constituent le système de production agricole et à tracer les liens partagés entre ces éléments à chaque niveau, ce qui nous permet d'évoquer les

caractéristiques et les paramètres qui régissent les interactions et de quelle façon on tire les données et les paramètres afin de les rendre exploitables dans la conception.

Par la suite nous sommes passés directement à l'opération de récolte, le niveau où se trouve l'interaction machine-plante, en donnant le principe de fonctionnement de la moissonneuse batteuse (la moisson précisément) et la relation entre le tablier de coupe et l'état de la culture et le problème d'interaction, pour ce dernier nous avons défini et classé les pertes et déterminé ceux en rapport avec notre travail, la *limite de fonctionnement* du *tablier de coupe* face à un *état de culture* spécifique qui est la *verse des cultures*.

DEUXIEME PARTIE :

CONCEPTION

INTRODUCTION

Cette étude vise la récolte des variétés locales des céréales, que ce soit pour le blé dur, blé tendre et l'orge. En ce qui concerne les autres spéculations, comme les légumes sec par exemple, les possibilités d'avoir des solutions mécaniques adaptables sont abordables. Mais ce travail va être concentré sur les céréales à pailles (blé et l'orge) vue leur grande importance dans le système alimentaire algérien, ainsi que dans le système d'élevage dont la paille figure comme aliment de base disponible en quantité et en qualité ; sans oublier qu'une part de cette paille représente une source importante de matière organique liée à la fertilité des sols (un système de production végétale fondé sur la production céréalière).

I. DEFINITION ET STRUCTURATION DU PROBLEME

I.1 Les pertes de grain à la coupe (localisation des niveaux)

En se basant sur le principe du fonctionnement du *systeme* « tablier de coupe de la moissonneuse batteuse » ou simplement le moissonnage, le schéma suivant (Figure78) montre les conditions *inputs valides* pour un fonctionnement *normal* :

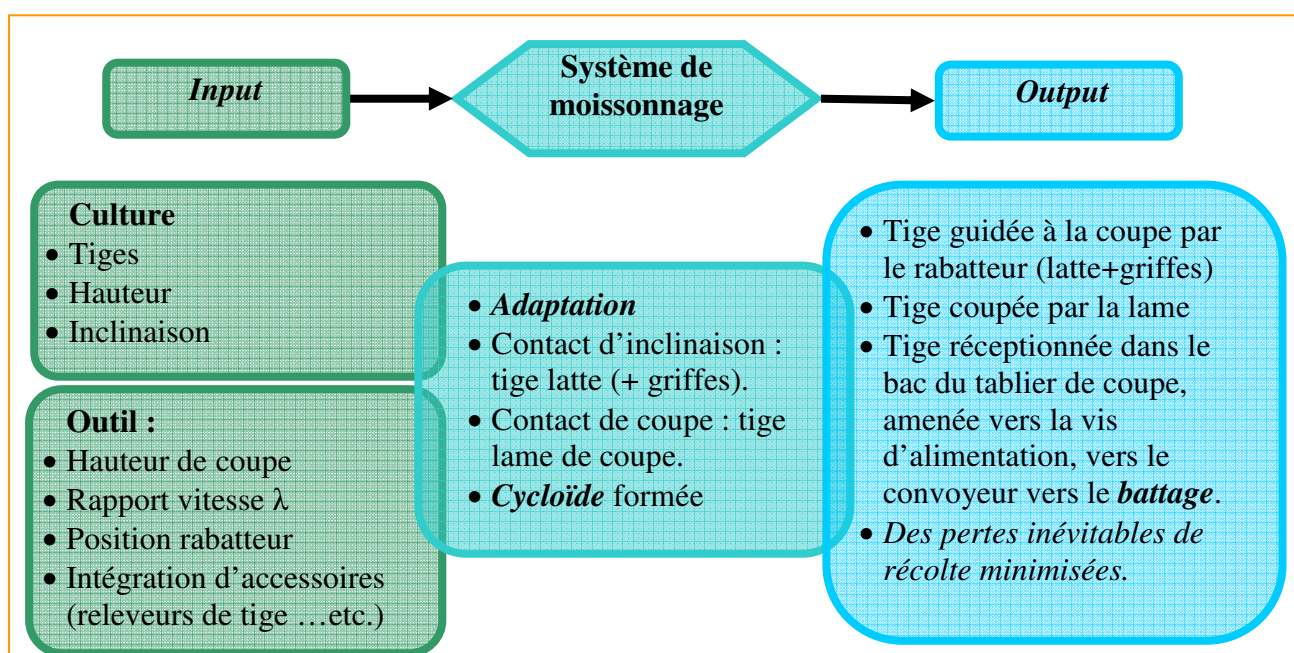


Figure 78: conditions *inputs valides* pour un fonctionnement *normal*

Un fonctionnement normal implique que la culture soit en bonnes conditions et prête à être récoltée, ce sont les conditions biophysiques, géométriques et la repartitions spatiale des tiges (plante) qui conditionnent une partie (état de la culture) de la réussite de l'opération de moissonnage (Figure 79), l'outil est adapté (conception & réglages) à la situation présente :

- Concernant la culture : (*Niveau 1*)
 - 👉 Tige droite et verticale le plus possible ;
 - 👉 Hauteur homogène ;
 - 👉 Caractéristiques biophysiques adéquates (*comportement normal au contact avec l'outil*). **Niveau 1 : caractère biologique**
- Concernant l'outil : (*niveau 2*)
 - 👉 Réglages préalables des paramètres de fonctionnement, en tenant compte de l'état de la culture : exploitation du potentiel du système (formation correcte de la bonne cycloïde) ; **niveau 2 : niveau d'exploitation de l'outils**
- Concernant le système de moissonnage : (*niveau 3*)
 - 👉 La conception de la machine permet les possibilités d'adaptation en fonction de l'état de la culture ; **niveau 3 : plage d'exploitation ou bien limites de fonctionnement.**

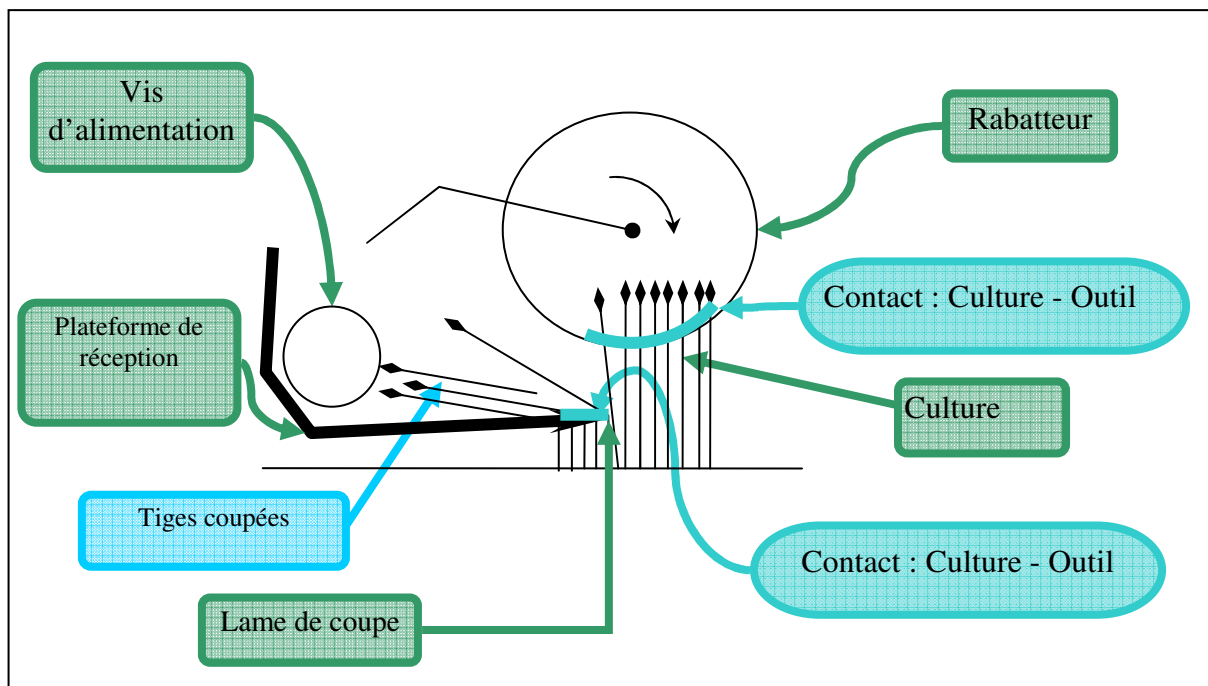


Figure 79: opération de moissonnage, adaptation et contact

I.2 Conditions outputs invalides

I.2.1 Quelle sont les cas des pertes non autorisées ?

Les pertes engendrées, par un mauvais réglage ou une exploitation non conforme du système de moissonnage (**niveau2**) sont ignorées lorsque la conception de la machine permet l'adaptation et les réglages nécessaires selon les normes. (Figure 81).

Les pertes non autorisées sont celles qui proviennent du **niveau 1 et 3**, aperçu comme suit :

- △ La latte n'amène pas la tige à la coupe quelque soit les réglages effectués ;
- △ Les tiges sont coupées mais elles tombent en dehors du tablier de coupe, ou bien les épis sont broyés par la lame de coupe au passage;
- △ Les tiges inclinées passent carrément sous le tablier de coupe.

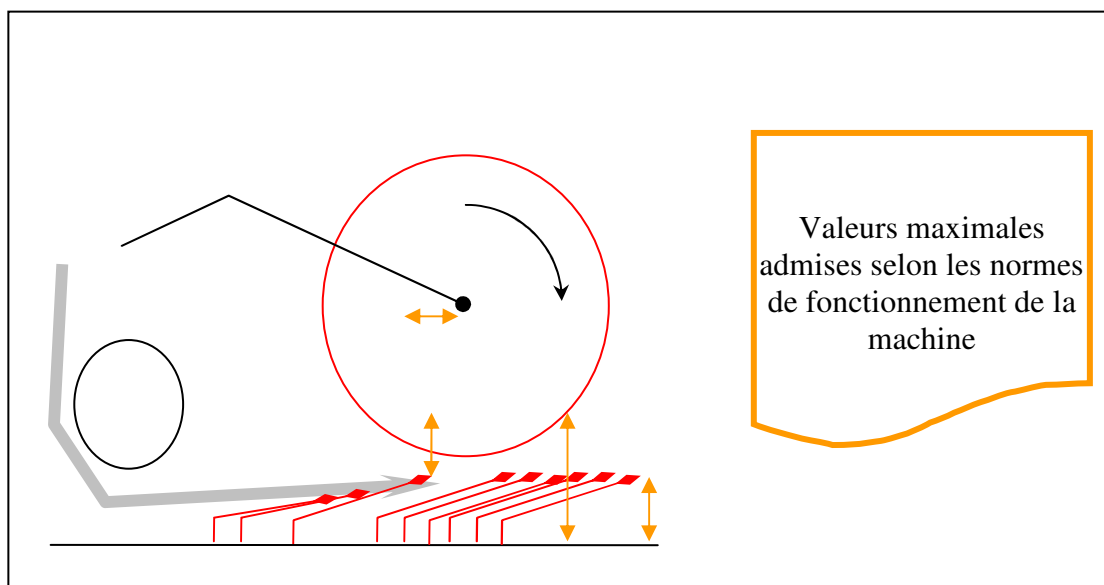


Figure 81 : input invalide du niveau 1 et 3

La tige doit être le plus possible verticale, ou bien dans une plage d'angles acceptable. Le problème de la culture (**niveau 1**) est déjà résolu, création de nouvelles variétés qui possèdent les caractéristiques biologiques nécessaires pour remplir les conditions input voulues :

Culture homogène et répartition spatiale et géométrique favorable à un fonctionnement normal.

Cependant ! Cette résolution est rejetée par la problématique globale de l'étude

Pour les raisons suivantes :

- ☞ Ces variétés ont de courtes tailles ;
- ☞ Ces variétés sont introduites et développées au détriment des variétés locales ;

- ☞ L'impact à court et long terme :
 - ☞ Appauvrissement progressif des sols en matière organique ;
 - ☞ Réduction importante de la base alimentaire utilisée dans les systèmes d'élevage ;
 - ☞ Disparition progressive des variétés locales.
- ☞ Le risque de la verse existe toujours.

Ce qu'il reste comme niveau de problème, c'est le **niveau 3** :

Le système de moissonnage est défaillant et on doit apporter des corrections afin de corriger le dysfonctionnement et rendre la solution mécanique plus fiable.

Cette étude n'est pas la première dans ce domaine, plusieurs alternatives ont été mises à la disposition de l'agriculteur, mais en se référant à la problématique, la nécessité d'apporter des corrections nouvelles impose une recherche d'autres alternatives possibles.

I.2.2 Le problème du niveau 3

Les lattes du rabatteur sont loin des tiges, dans les solutions existantes on avance le rabatteur et en le rabaissant le plus possible et par l'intégration des releveurs au tablier de coupe, si il y a contact entre la tige, soulevée par le releveur, et la latte cette dernière ramène la tige à la coupe, puis introduite dans le bac du tablier de coupe.

Cette solution reste limitée dans l'espace et la collision entre organes peut endommager le système complètement.

Il faut faire quoi ?

La tige doit être soulevée par la latte, puis amenée et coupée, ensuite, introduite dans le bac du tablier de coupe du rabatteur, sans collisions ni dommage mécanique.

Comment ? L'énoncé des fonctions du produit :

Il faut des lattes qui se déplacent vers les tiges inclinées, les soulever le plus verticalement possible, ensuite les amener à la coupe et les introduire dans le bac du tablier de coupe.

Donc il faut concevoir un mécanisme capable d'accomplir ces tâches

II. RESOLUTION DU PROBLEME

II.1 Représentation synoptique du système

Les principaux organes d'un tablier de coupe sont : le rabatteur, l'organe de coupe et le récipient (bac du tablier de coupe) de la récolte rabattue et coupée (Figure 82).

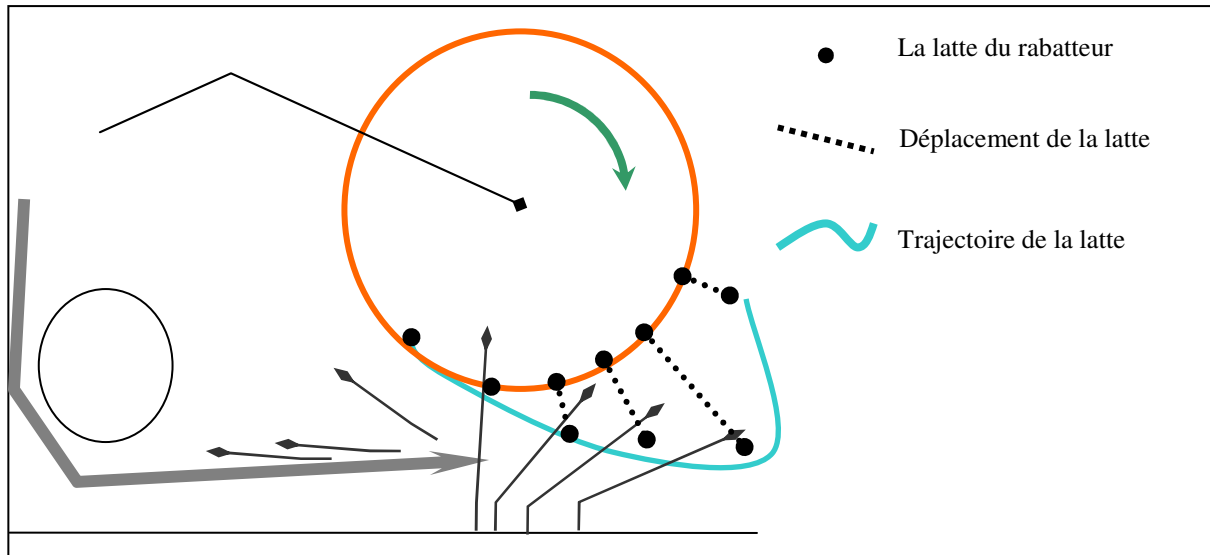


Figure 82: schéma synoptique du fonctionnement du nouveau mécanisme

Dans le nouveau système, le rabatteur à *lattes déplaçables* (Figure 83) est la pièce maîtresse, pour assurer les tâches qu'on lui a confié il doit avoir une architecture primaire comme suit :

Un arbre, disques polygonaux, lattes détachables, *actionneurs* et *systèmes de guidages*

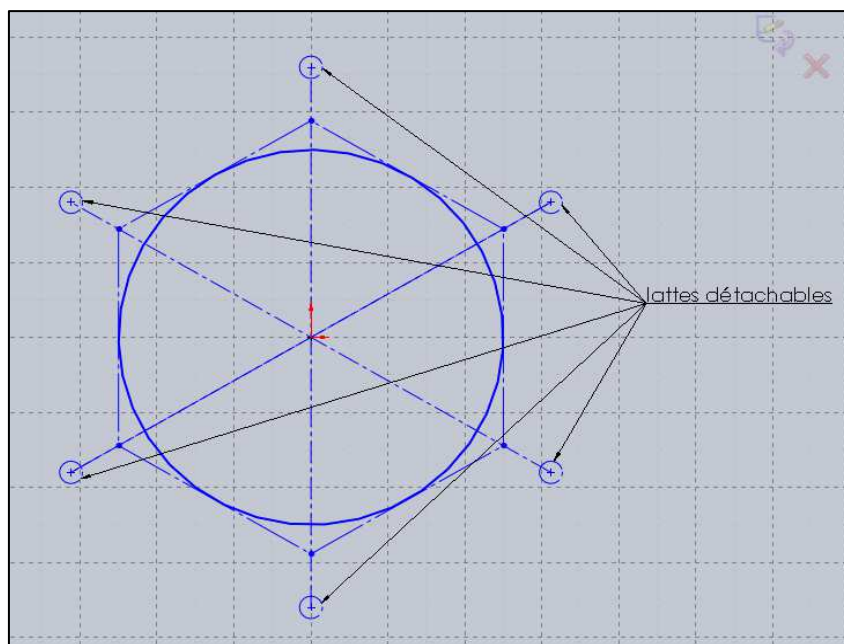


Figure 83: des lattes détachables pour établir le contact avec la plante.

II.2 Première représentation du système en action

La projection (k) des lattes dans l'espace se fait selon des axes virtuels qui traversent le centre d'un cercle (d) virtuel du polygone, ce dernier est un hexagone, ce qui donne la possibilité d'avoir six (06) lattes (comme dans la majorité des rabatteurs existants).

Cette projection permet d'augmenter la surface (S) de balayage tout en augmentant le rayon (R) du rabatteur, la rotation trace un nouveau cercle (D) d'un rayon (R_p) plus grand. (Figure 84).

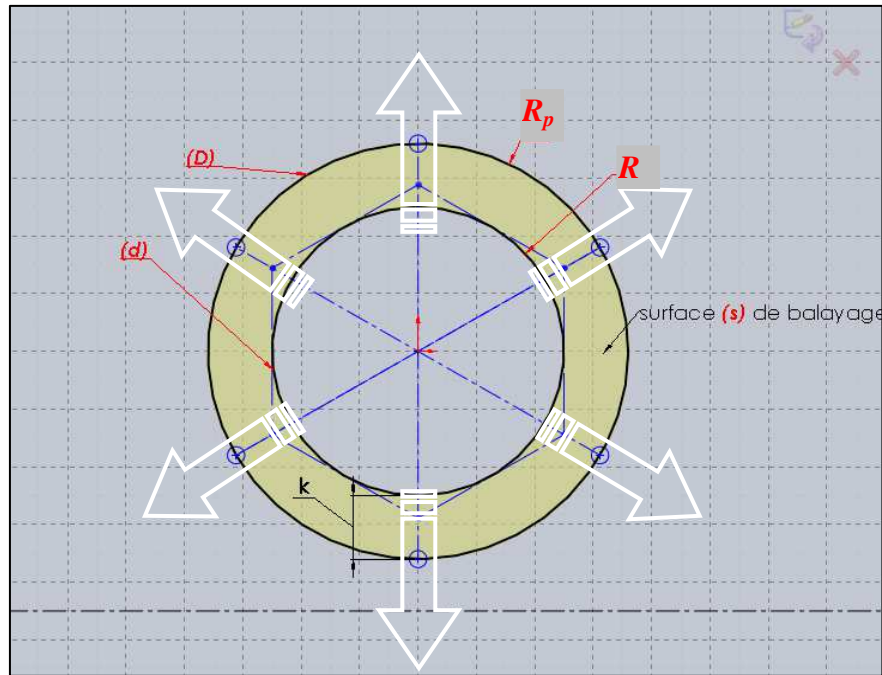


Figure 84: projection des lattes fait augmenter la surface de balayage.

La relation théorique entre R_p et k est comme suit :

$$R_p = R + k \rightarrow (1)$$

La variation géométrique entraîne une variation considérable de dimensions et de fonctionnement, elle impose un certain nombre de contraintes (collisions) dont il faut tenir compte, ces contraintes vont être traitées chacune en fur et à mesure que la conception progresse.

II.3 La projection des lattes et le contact prévu avec la tige

La tige de la plante, d'une longueur (l), est inclinée de telle façon que ce qu'elle forme un angle (α) avec l'horizontal (sol), l'axe porteur de la tige, qui est un axe virtuel, est projeté dans l'espace. La surface (S) de balayage est subdivisée en six (06) zones de Z_0 à Z_5 (Figure 85), le contact se fait dans la zone Z_2 , les autres ne sont pas concernées par ce contact, mais certaines sont nécessaires pour le fonctionnement du système.

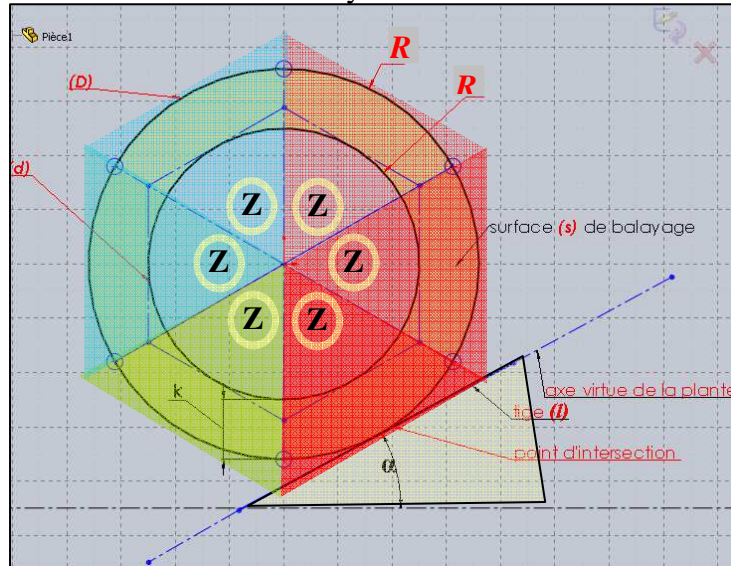


Figure 85: des points d'intersections (contact) sont possibles.

Donc on peut dire que la surface de balayage (S) comporte :

1. Une surface passive (s_1) : les lattes sont projetées mais elles ne rentrent pas en contact avec la plante. Z_0 et Z_1 ;
2. Une surface active (s_2) : les lattes projetées rentrent en contact avec la plante. Z_2 et Z_3
3. Une surface inutile (s_3) : la projection des lattes désormais inutile. Z_4 et Z_5

Cette configuration permet de tirer les points suivants :

- Le rabatteur n'est pas une entité isolée mais c'est un élément qui dépend de tout un système.
- La projection des lattes est restreinte par le fait qu'elles ne doivent pas rentrer en collision avec les autres organes, précisément la lame de coupe et la vis d'alimentation ;
- Seule la projection (k) pour le contact avec la plante $\{(l), (\alpha)\}$ est essentielle.

De ce fait, dans une rotation du rabatteur, la projection des lattes est marquée par un début Z_0 , une variation ascendante progressive jusqu'à une valeur maximale (contact avec la plante), un retour progressif à la position initiale sur le disque au moment où la latte passe par la lame de

coupe qui marque la fin de cette projection Z_2 . La latte peut rester en contact (Z_3) avec la plante pour qu'elle soit introduite dans le bac du tablier de coupe.

Le schéma (Figures 86) montre l'allure de cette courbe (f) :

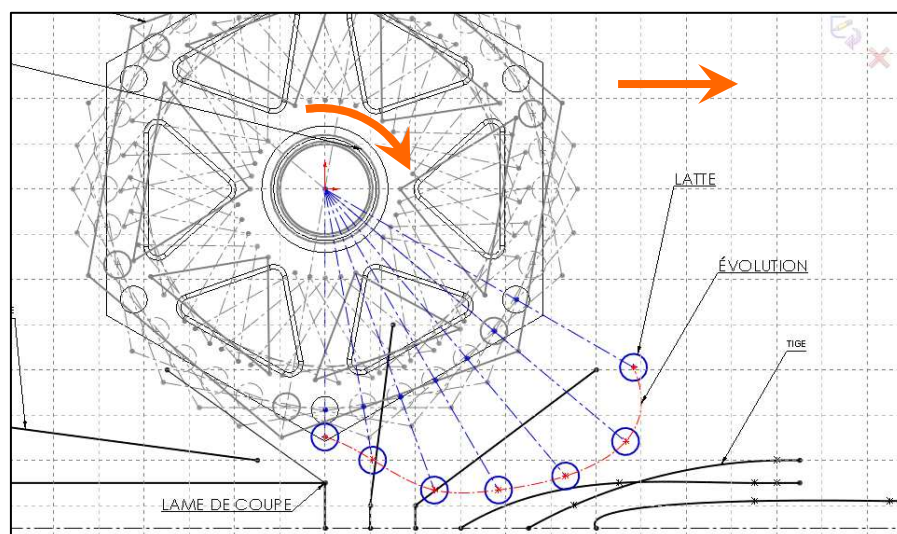


Figure 86: Rotation et translation, une courbe tracée en harmonie avec l'évolution globale du système.

La projection des lattes ne suit pas le cercle (D) comme trajectoire, mais une courbe (f) doit être tracée, afin d'exécuter les tâches ordonnées en harmonie avec le reste des opérations.

La courbe (f) est la représentation graphique du produit de la rotation du rabatteur d'une position donnée, la translation des lattes vers des positions données et l'avancement globale de la machine.

III. PROJECTION ET ELABORATION DU MECANISME

III.1 Etude des mouvements : conception et dimensionnement des pièces

On a constaté, que seule la projection dans la zone Z_2 est essentielle pour le contact, les mouvements dans les zones Z_0 , Z_1 et Z_3 sont nécessaires pour le système.

De même, le passage d'une zone l'autre ne se fait pas en discontinue, il va y avoir transition progressive entre les zones, ainsi une opération à effectuer. (Figure 87).

Systèmes de Références : nous allons considérer plusieurs sortes de repères : un repère local de conception et de dimensionnement des pièces, un repère secondaire d'assemblage et un repère principal et globale. Dans ce qui suit, il n'y a que deux organes (éléments) supposés en

action, le rabatteur et la latte .La machine est supposée à l'arrêt, la translation de tout le système est ignoré dans cette étape.

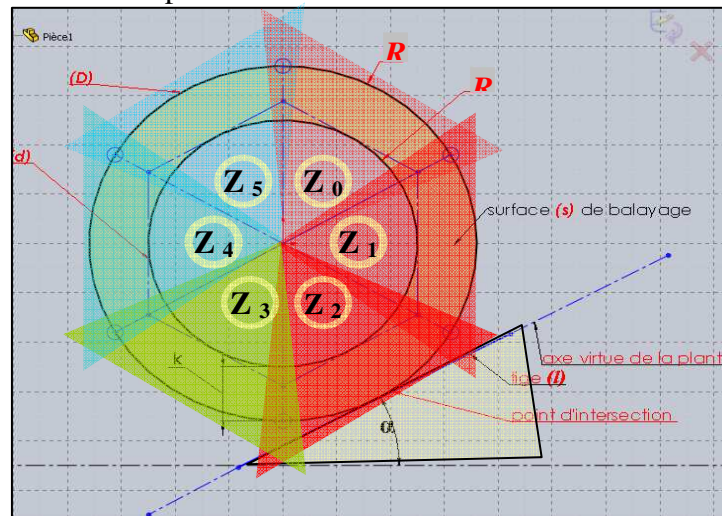


Figure 87: Intersection entre les zones, une progression simultanée de la projection

Pour tracer la courbe (f) , il faut un mécanisme d'action et un système de guidage ; en d'autre terme, les mouvements du système globale seront guidés, pour produire un déplacement conditionné par une *fonction paramétrique*.

III.1.1 Rotation du rabatteur

Le rabatteur est un élément essentiel dans le nouveau système de moissonnage (comme dans les autres systèmes du même genre) (Figure 88).

Le rabatteur est composé de disques hexagonaux raccordés par des cylindres de part et d'autre, le tout forment un arbre tournant, le tout repose sur des paliers intégrés à deux bras de supports sur les extrémités; la rotation est actionnée par un moteur adapté à notre situation

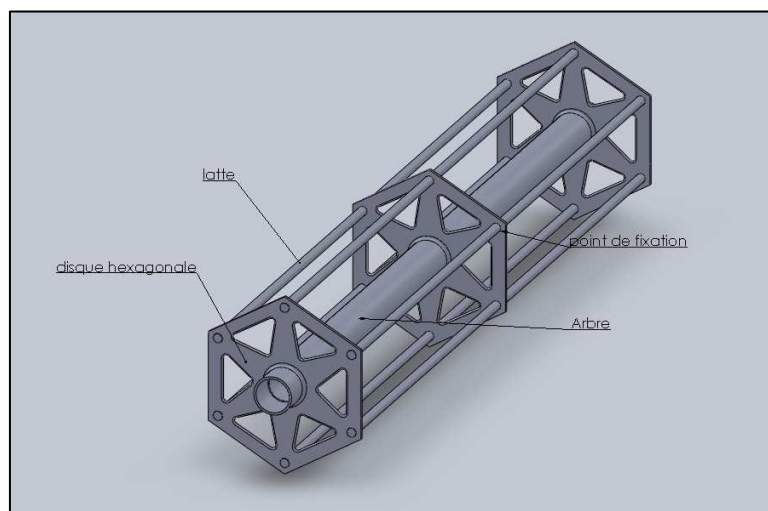


Figure 88: configuration d'un rabatteur ordinaire.

Les disques sont le support des lattes, dans un rabatteur ordinaire ces lattes sont fixées de telle façon à ce qu'elles n'aient comme mouvement local, que la rotation autour de leurs propres axes. Le mouvement du rabatteur est une simple rotation définie par une vitesse (ω), d'un point quelconque (p) autour d'un axe (Δ) suivant une trajectoire circulaire d'un centre O , ($O \in \Delta$) et d'un rayon (R) constant.

Lors d'une durée de temps très petite (dt) le point (p) passe au point (p') très voisin, la vitesse angulaire est : $\omega = \frac{d\alpha}{dt}$ (rad/s) ; l'arc de cercle décrit par (p) est : $pp' = ds = R d\alpha$

La rotation du rabatteur permet avec la translation de la machine le tracé d'une cycloïde.

Dans le nouveau système, cette rotation est à rayon variable, d'un point donné, représenté matériellement par la latte.

On doit libérer les lattes ! Dans chaque pôle de chaque disque une rainure (Figure 89) est faite pour permettre :

- Aux lattes de tourner autour de leur axe arbitraire et autour de l'axe principal de l'arbre tournant ;
- La projection vers l'extérieur ;
- Une fixation des latte, lorsque ces dernières rejoignent leur place d'origine, à la fin de la projection ; ou lorsque la projection n'est pas nécessaire.

Les dimensions des rainures sont fonction des diamètres des lattes. (Ceci va être remis en cause plus tard.... (1)).

La configuration et les dimensions du nouveau rabatteur seront détaillées par la suite dans la partie **Assemblage du rabatteur**.

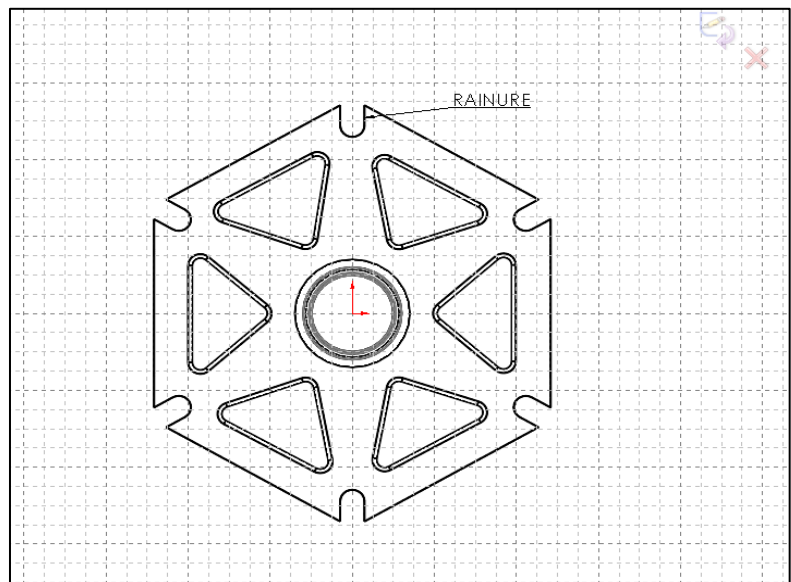


Figure 89: les disques comportent des rainures.

Les lattes sont libérées, elle ne font plus une partie intégrale des disques leurs mouvements sont restreints, elles doivent toujours rester en liaison avec les disques, tout en effectuant la translation par rapport à un axe perpendiculaire à l'axe de rotation global du rabatteur. (Figure 90)

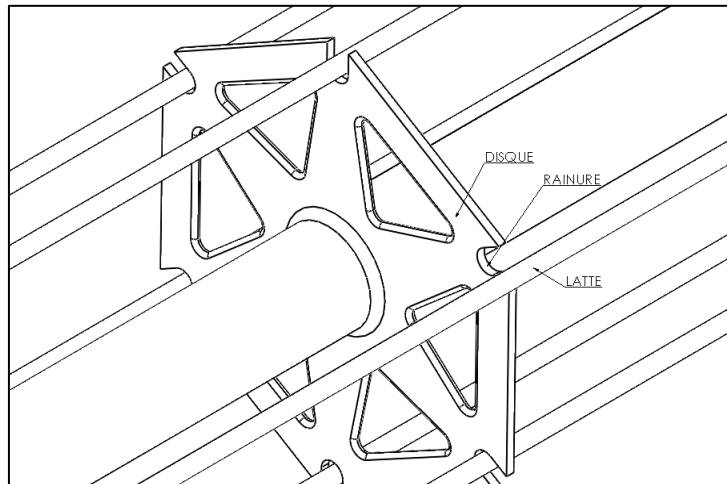


Figure 90: les lattes ne font plus une partie intégrale des disques

III.1.2 La translation des lattes

On s'intéresse à la translation locale des lattes. La translation curviligne (due la à rotation du rabatteur) ainsi que celle de la machine (avancement rectiligne) sont ignorées dans cette étape. Par définition un mobile est animé d'un mouvement de translation si, entre deux positions consécutives, tous les points se sont déplacés d'un même vecteur, en reportant les points au centre de gravité du solide la translation devient un déplacement d'un vecteur AB. (Figure 91)

Les lattes se déplacent suivant un axe perpendiculaire à l'axe de rotation globale.

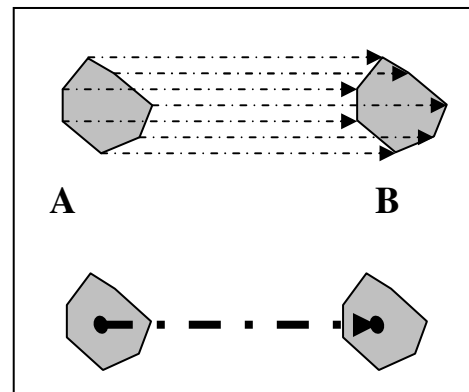


Figure 91: translation d'un corps solide

Pour effectuer ce déplacement rectiligne, un actionneur doit être mis en œuvre, c'est un bras coulissant dans un support qui va maintenir, par une poignée, les lattes et leur permettre une rotation locale.

III.1.2.1 L'actionneur

L'actionneur (Figure 92) de la translation est un levier mécanique et il a la configuration suivante :

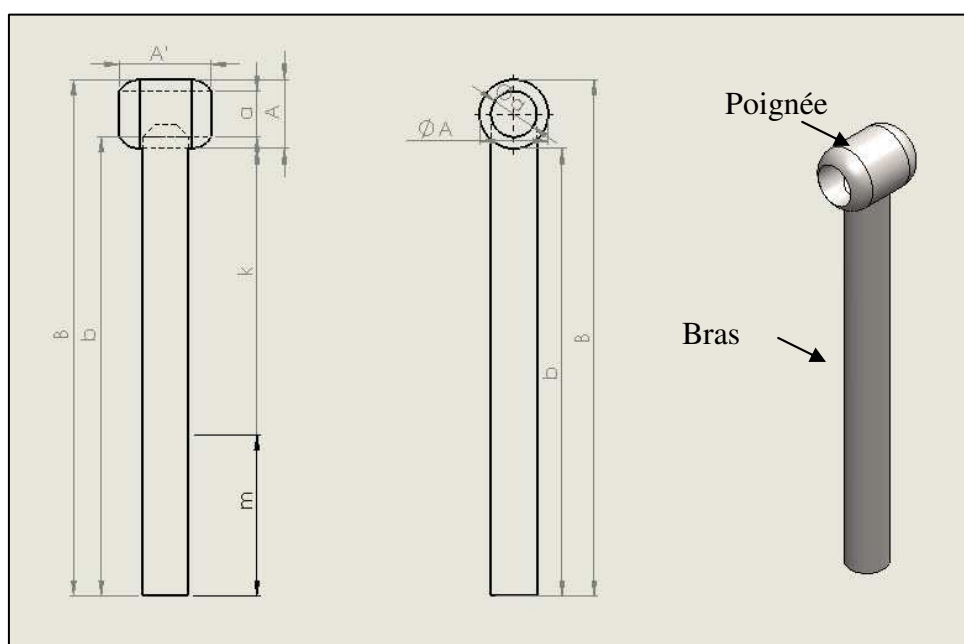


Figure 92: aspect et dimensions de l'actionneur

Les dimensions de cette pièce sont comme suit dans un repère local :

- B : est la longueur total de la pièce ;
- b : est la longueur du bras ;
- b' : diamètre du bras ;
- A : est le diamètre extérieur de la poignée (diamètre correspond aux dimensions des rainures sur les disques... (1), page 96));
- A' : est la largeur de la poignée;
- a : est le diamètre intérieur de la poignée (correspond au diamètre des lattes) ;
- k : est la longueur totale de la projection des lattes (la course) ;
- m : est la longueur de la partie du bras qui doit rester en contact avec le support.

III.1.2.2 Le support de l'actionneur

On a choisi dans un premier temps de faire un support indépendant, mais vu l'encombrement et les problèmes liés à l'équilibre du système que peut causer ce support (Figure 93.a) Cette configuration a été rejetée (Figure 93.b), on a estimé utile d'intégrer le support au corps des

disques. Les dimensions données aux pièces seront en fonction des dimensions données aux disques.

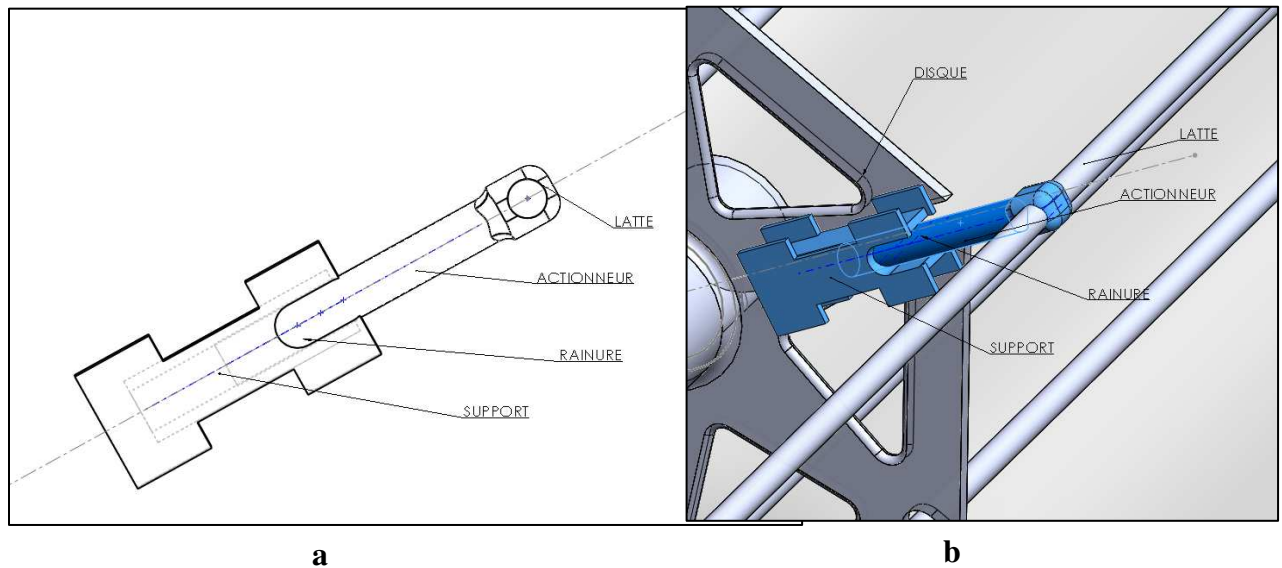


Figure 93: l'actionneur coulisse dans un support indépendant. (1ère configuration)

III.1.2.3 Architecture des disques à support intégré

Au lieu de faire un support indépendant pour l'actionneur, le cylindre (tube) peut être intégré au corps des disques ; ces derniers, sous les nouvelles conditions, vont avoir l'architecture suivante (Figure 94) :

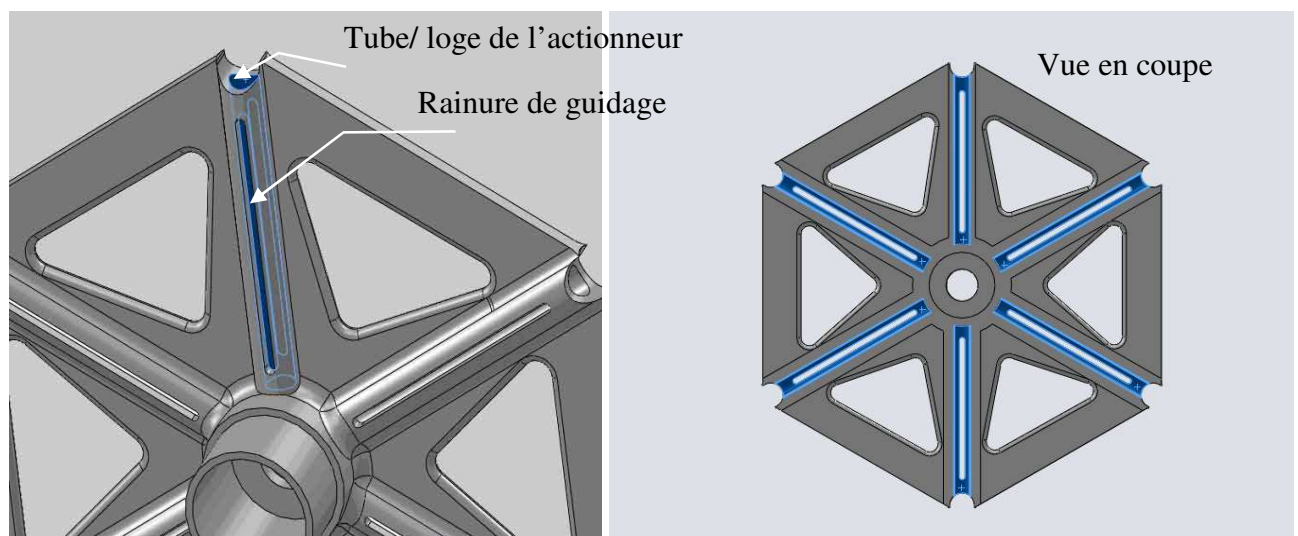


Figure 94: vue générale de la nouvelle configuration des disques

Les dimensions doivent correspondre au rapport global du système :

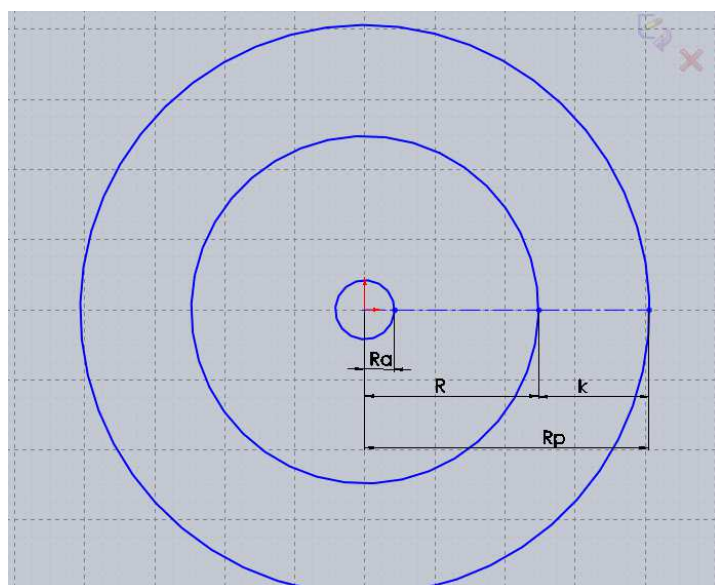
- Tube ou loge de l'actionneur par rapport à l'actionneur (B, b, b').

- Les Rainures de guidage par rapport à l'actionneur :
 - Les dimensions conviennent à la projection (la course) maximale autorisée de l'actionneur avec l'ajout d'une petite tige de blocage et de retour (m, k).
 - La tige de blocage coulisse dans les rainures sans contact, son diamètre sera nettement inférieur mais il reste à une valeur qui lui permet d'assurer son rôle et sa position sera déterminée en fonction de m .
- Les rainures de maintien de la poignée par rapport à ce dernier et par rapport au lattes (A, A', a).

Les autres dimensions des disques seront redéfinie par la suite dans : la partie assemblage du rabatteur.

III.1.3 Nouvelle forme de liaison du disque - actionneur

Cette configuration (Figure 95) conserve les mêmes fonctionnalités prévues de l'actionneur, ce dernier coulisse dans la loge et le degré de mobilité est fixé seulement à une translation locale.



Ra : rayon de l'arbre du rabatteur.
 R : rayon du rabatteur.
 Rp : rayon du rabatteur après la projection des latte.
 k : la course de l'actionneur.

Figure 95: relation entre les principaux paramètres de la projection

La loge permet un glissement libre de l'actionneur, les petites tiges fixées de part et d'autre sur la partie basse du bras (par filetage) permettent le blocage de la translation (un élément de sécurité pour que l'actionneur ne sorte pas de sa loge). (Figure 96)

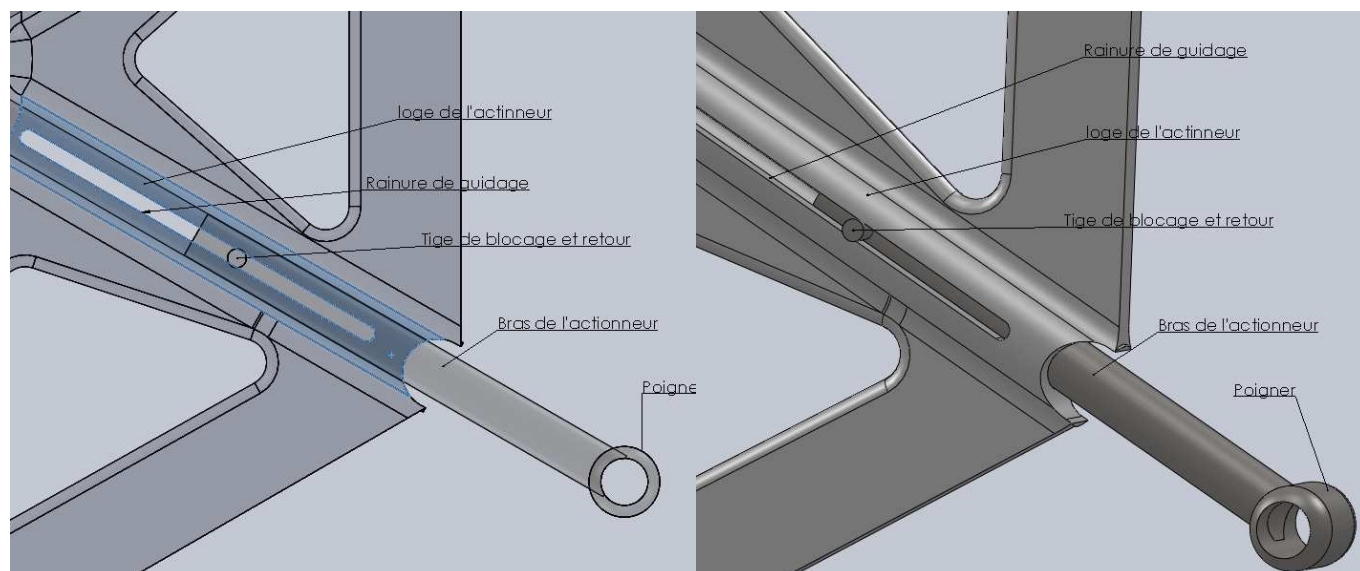


Figure 96: assemblage actionneur disque

Les relations entre les dimensions seront comme suit :

B : la longueur totale de l'actionneur (bras + la poignée) sous la relation suivante :

$$B = m + k + A \Rightarrow B = R - R_a$$

$$\Rightarrow R = (m + k + A) + R_a$$

Dans la relation (1) (page 9) on ajoute la dimension de la poignée **A**, la relation de la projection devient :

$$R_p = R + (k + A) \rightarrow (2)$$

Dans la relation (2) La valeur de **k** est variable vu les conditions de la projection, la relation de cette dernière s'écrit sous la forme d'une fonction comme suit :

$$R_p = f(k) \rightarrow (3)$$

Les valeurs de **k** appartiennent à un intervalle limité par deux valeurs extrêmes définies par deux positions que l'actionneur prend pendant le travail du mécanisme k_{min} et k_{max} .

$$k \in [k_{min}, k_{max}]$$

La figure suivante montre les deux positions extrêmes que peut prendre la projection (Figure 97) :

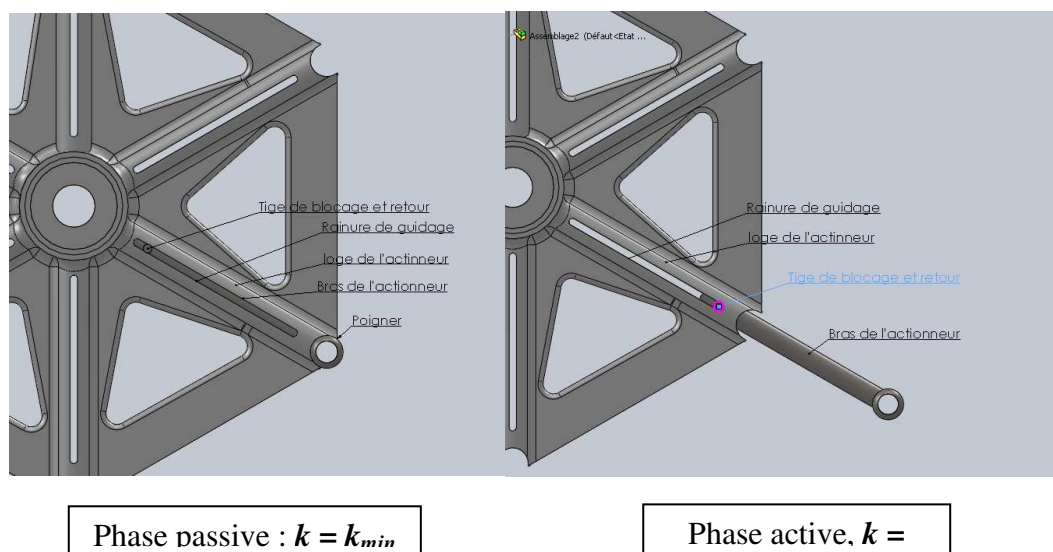


Figure 97: Positions extrêmes de l'actionneur

Lorsque la valeur de k est au minimum cela signifie que :

- ☞ La projection est finie et que les lattes ont passé la zone Z_2 .
- ☞ Le fonctionnement du mécanisme n'est pas nécessaire (les conditions inputs pour le système de moissonnage sont valides).

La valeur maximale de la projection (R_p) représente la position des lattes dans la quelle il y aura le contact avec les tiges inclinées.

Le mouvement de l'actionneur est *un mouvement rectiligne alternatif*, le mécanisme qui produit ce mouvement (projection et retour) sera développé par la suite (*les mécanismes des mouvements*).

III.1.4 La nouvelle configuration du rabatteur

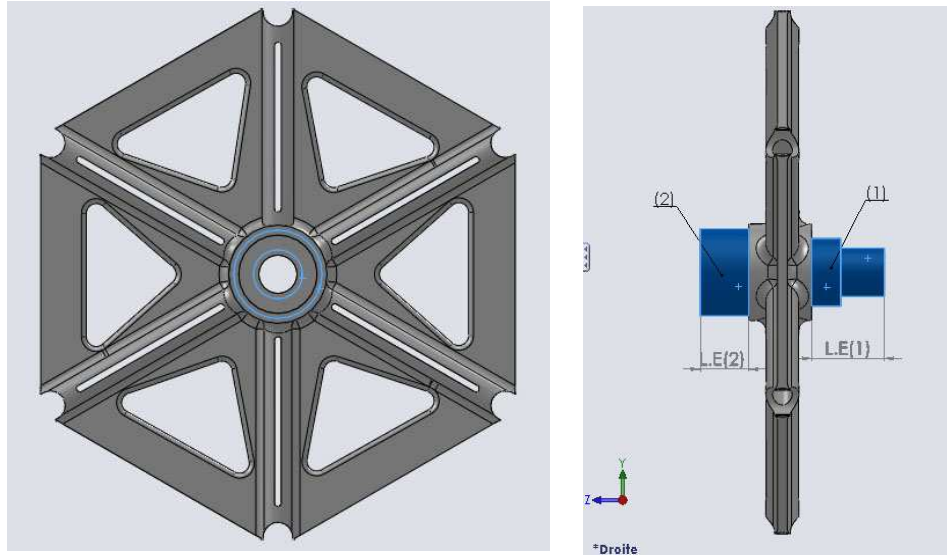
A la lumière des données traitées et les conditions qui sont attribuées aux mouvements des lattes, Le rabatteur est doté d'une architecture qui lui permet d'assurer, d'une part sa propre condition (*rotation des lattes*) et de l'autre part la condition de la projection (*le support de l'actionneur*).

Cette structure est composée de trois (03) disques reliés par des cylindres en formant l'arbre du rabatteur. A retenir dans cette partie les points suivant :

- ☞ Les dimensions sont proportionnelles aux dimensions globales du système.
- ☞ Les problèmes de flexion et de torsion et les autres caractéristiques mécaniques doivent être étudiées à part d'une façon profonde.
- ☞ Certaines relations entre les dimensions des pièces seront traitées lors de l'assemblage du rabatteur et d'autre dans la partie qui traite l'animation du système de moissonnage.

III.1.4.1 Les disques

Les disques à support intégré pour les actionneurs des lattes sont identiques avec quelques spécifications, deux disques latéraux et un disque médian avec la configuration suivante (Figure 98) :



1 : Palier l'arbre du rabatteur et liaison avec le moteur.

2 : Liaison avec le cylindre de l'arbre (emboîtement avec soudage ou blocage à vis percé)

Figure 98: Forme générale de l'un des disques latéraux.

Le disque a une forme hexagonale, au centre du quel sortent, des deux cotés, deux ébauches $[E(1)]$ et $[E(2)]$ cylindrique (Figure 99) :

- ⊙ Le diamètre externe du cylindre (1) permet l'emboîtement avec le cylindre (diamètre interne) de l'arbre, le maintien de la liaison se fait soit par soudage, ou bien par vis ou autre moyen adéquat (cette partie sera développée dans l'assemblage du rabatteur), $L E(1)$ est la largeur de cette ébauche ;

- ⊙ Le diamètre interne du cylindre (2) permet la liaison avec l'arbre du moteur, cette liaison sera par engrenage droit. $L E(2)$ est la largeur de cette ébauche ;

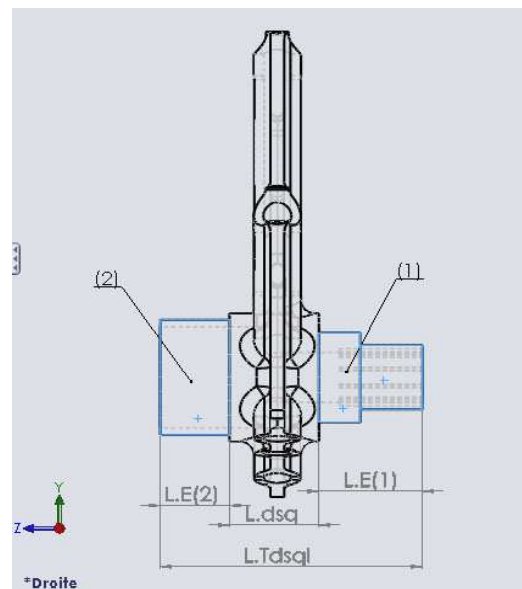


Figure 99: les dimensions des disques

- ⊙ La largeur totale d'un disque latéral est : $L_{T.dsqr.l} = L_{dsqr} + L_{E(1)} + L_{E(2)}$

- ⊙ Le troisième disque en position médiane est identique aux deux précédents, sauf que les deux ébauches sont les même [E (2).m] (Figure 100) :

$$L_{T.dsqr.m} = L_{dsqr} + 2.(L_{E(2).m})$$

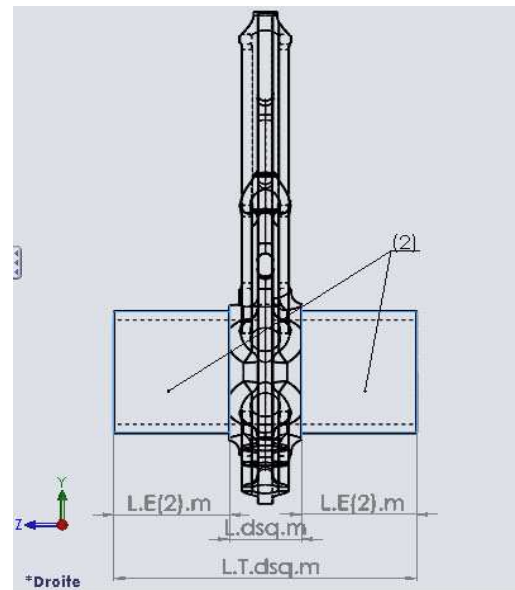


Figure 100: les dimensions des disques

III.1.4.2 L'arbre du rabatteur

L'arbre du rabatteur est composé principalement par deux cylindres identiques d'épaisseur convenable et de diamètres adéquats permettant l'emboîtement avec les disques (*assemblage du rabatteur*). (Figure101)

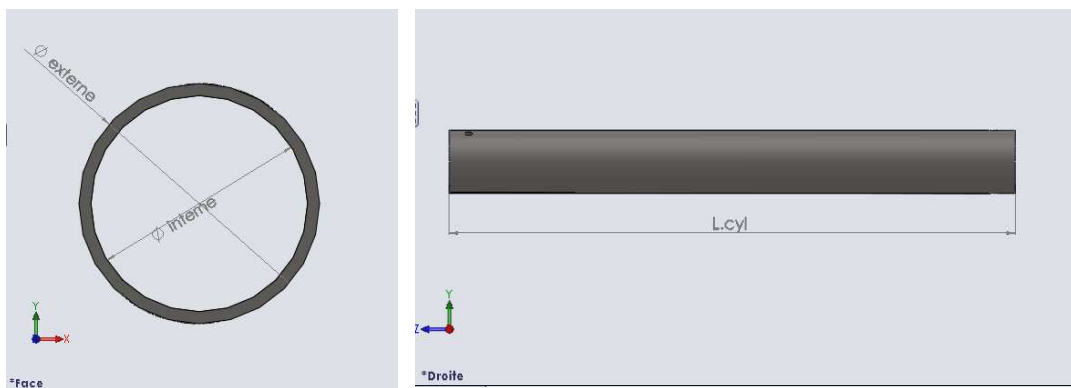


Figure 101: les dimensions des cylindres

La longueur de ces cylindres (L_{cyl}) et la largeur des disques (L_{dsqr}) vont définir la largeur du travail du tablier de coupe.

III.1.4.3 Les lattes

Les lattes sont des tiges droites à une longueur définie (L_{lat}) qui correspond à la largeur du travail de la machine ; le diamètre (Φ_{latte}) de ces tiges correspond au diamètre intérieur (a) de la poignée de l'actionneur. (Figure 102)

Le rôle basique des lattes est de rabattre les tiges des plantes pour la coupe ; dans le nouveau système, en plus de redresser les tiges, les lattes jouent un autre rôle important qui va définir leur architecture globale (dimensionnement et nature du matériau de construction), cette dernière sera développée par la suite dans (*l'assemblage du rabatteur et les mécanismes des mouvements*).

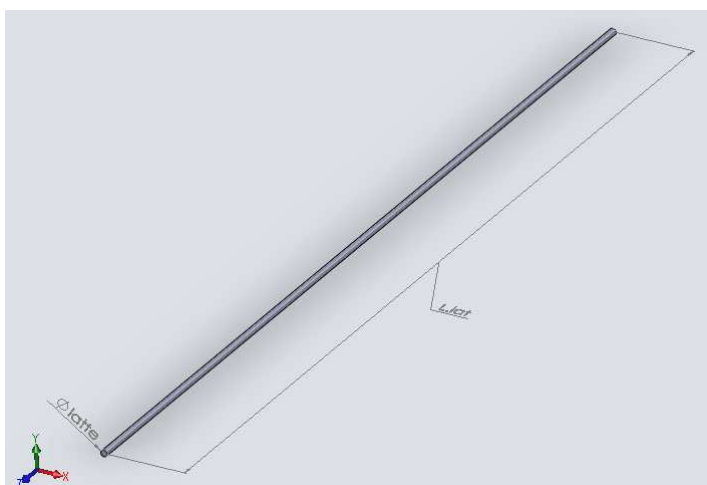


Figure 102: les lattes de rabatteur

III.1.5 Assemblage du rabatteur

Après avoir donné les principaux aspects des pièces du rabatteur (en se basant sur l'étude des mouvements élémentaires), l'étape suivante est de faire l'assemblage afin de continuer le reste des tâches de la conception.

L'assemblage se fait en trois sous assemblages :

- Un sous assemblage 1 : disques – cylindres ;
- Un sous assemblage 2 : disques – actionneurs ;
- Un sous assemblage 3 : actionneurs – lattes.

Les sous assemblage doivent être un bloc unique, le transfert des charges et la repartitions des poids doivent aboutir à un équilibre statique et dynamique avec des variations constantes et équilibrées (question RDM).

III.1.5.1 Sous assemblage 1

L'assemblage entre les disques et les cylindres va former l'arbre du rabatteur d'une part et de l'autre part, le support des actionneurs et des lattes. (Figure 103)

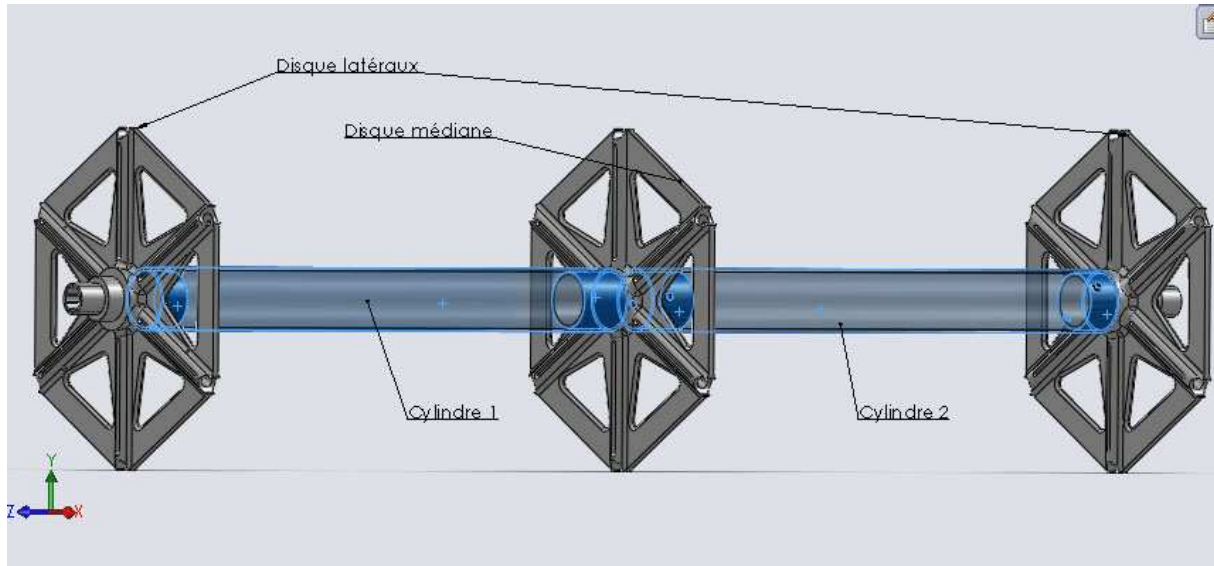


Figure 103: sous assemblage 1, disques – cylindres.

La correspondance entre le diamètre interne des cylindres et celui externe des ébauches des disques, permet une liaison par emboîtement ; le maintien de cette liaison doit se faire soit par soudure soit par fixation à vis, pour cette dernière le perçage doit être adéquat à ce genre de liaisons. (Figure 103 et 104)

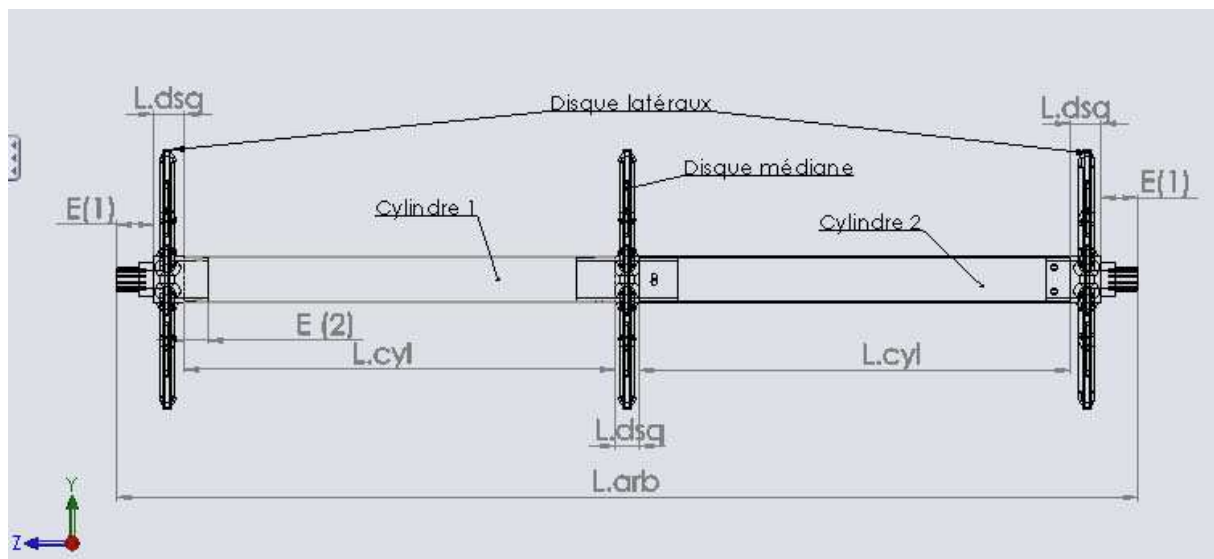


Figure 104 : relations entre les dimensions (sous assemblage 1)

La variable dans cet assemblage et la longueur de l'arbre (L_{arb}), cette dernière va définir la largeur du travail (L_w) du tablier de coupe.

On peut mettre à ce stade la relation suivante :

$$L_w = f(L_{arb}) \rightarrow (4)$$

Les relations entre les dimensions des pièces (Figure 106) auront les formules suivantes :

$$L_{arb} = 2.L_{E(1)} + 3.L_{dsq} + 2.L_{cyl} \rightarrow (5)$$

III.1.5.2 Sous assemblage 2

Les relations de l'assemblage ont été développé précédemment sous le titre (*Une nouvelle forme de liaison du disque – actionneur*). (Figure 105)

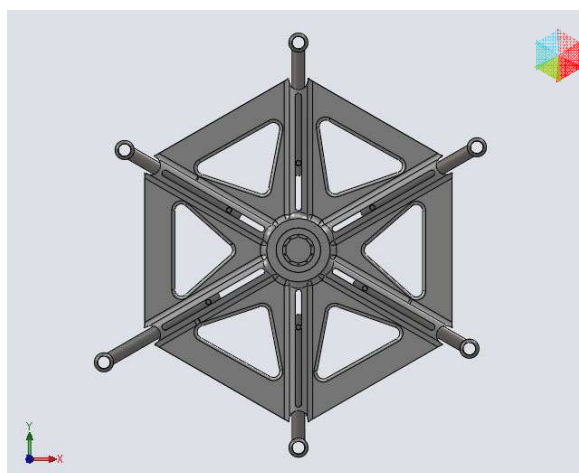


Figure 105: vue de face du sous assemblage 2

Le rabatteur compte 18 actionneurs logés dans 03 disques. La vue en coupe (Figure 106) montre l'emplacement des actionneurs dans les disques.

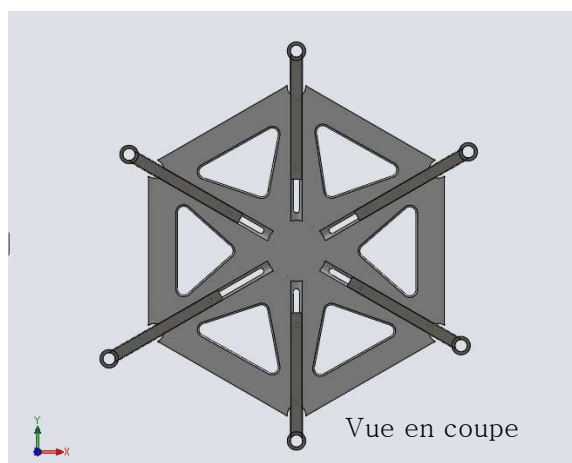


Figure 106: vue en coupe du sous assemblage 2

Ils glissent librement dans le support intégré, ces mouvements sont indépendants les uns des autres, et de même par rapport à un autre actionneur de la même position sur un autre disque (Figure 107). Cette indépendance n'aide pas à réaliser une projection synchrone, ce détail et d'autres relatifs à l'animation seront étudiés par la suite dans la partie animation du rabatteur. La vue générale de l'assemblage montre aussi cette indépendance, les actionneurs sont répartis d'une façon anarchique.

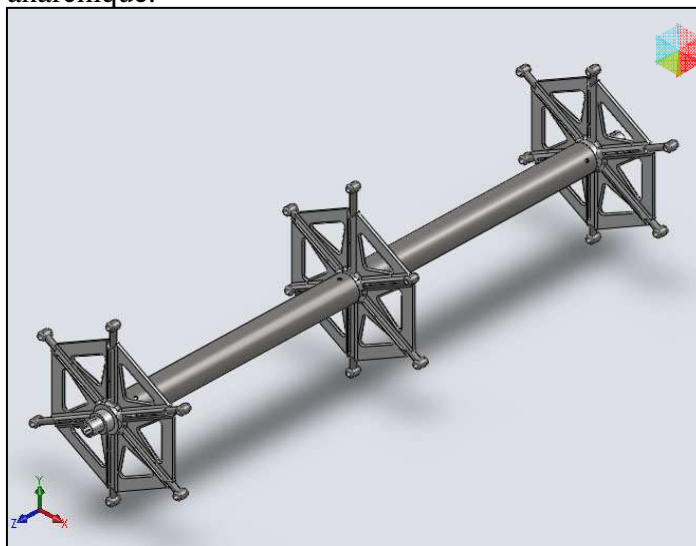


Figure 107: vue générale du rabatteur (sous assemblage 2)

III.1.5.3 Sous assemblage 3

Le dernier sous assemblage, est celui des lattes avec les actionneurs et le reste du bloc du rabatteur. Cette liaison va permettre de connecter les actionneurs entre eux (sur le même plan). Les lattes sont définies par deux dimensions la longueur (L_{lat}) et le diamètre (Φ_{latte}) tout en respectant les correspondances des dimensions avec les autres pièces.

La disposition des lattes suit celle des actionneurs, elle n'est pas contrôlée pour satisfaire la condition (f). (Figure 108)

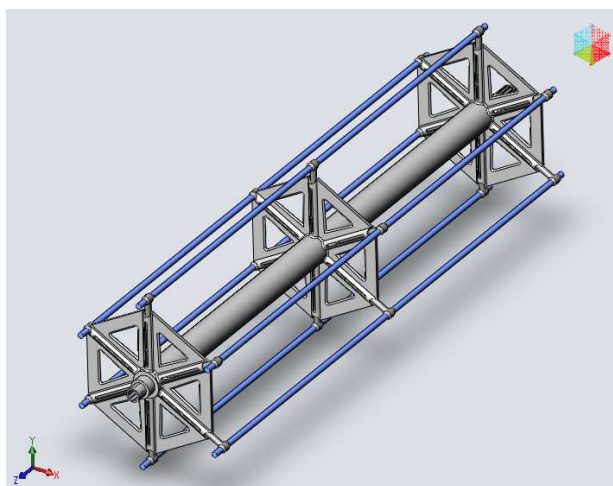


Figure 108: sous assemblage 3 : lattes –actionneurs

III.2 Les mécanismes des mouvements

Après avoir assemblé le rabatteur, l'étape suivante c'est d'animer le système. On s'intéresse dans cette étape à la question principale : *comment réaliser cette projection variable qui suit une courbe (f) ?*

Dans l'étape du sous assemblage 3, on a observé que les mouvements des lattes sont anarchiques par rapport aux conditions de mouvements prévus, le bon fonctionnement nécessite de respecter la condition (f).

Les mécanismes de mouvements vont :

- ⊙ Animer le rabatteur
- ⊙ Animer les lattes.

III.2.1 Animation du rabatteur :

Le rabatteur tourne grâce à un moteur lié à l'un des disque latéraux, on estime que le moteur hydraulique est le plus approprié à ce système de moissonnage pour les raison suivantes :

- ⊖ Contrôle efficace de la variation de la vitesse de rotation (surtout à des valeurs de vitesses faibles) ;
- ⊖ Ne pose pas de problème de positionnement du rabatteur sur le plan horizontal (le transfert du mouvement se fait directement à l'arbre sans chaîne ni courroies).

Pour réaliser cette rotation il faut aussi un support pour l'arbre, les paliers sont intégrés aux bras de positionnement du rabatteur.

III.2.2 Animation des lattes :

Le mouvement combiné des lattes se fait sous conditions déjà définie au préalable, il est composé, comme prévu, par :

- △ Une rotation assurée par le moteur hydraulique qui entraîne le rabatteur le transfert du mouvement se fait à travers la chaîne cinématique *arbre – disque – actionneur*.
- △ Une translation (projection) limitée par la condition (f), elle est le résultat de la transformation de la rotation en mouvement rectiligne périodique.

III.2.2.1 Les mécanismes de la translation des lattes

Plusieurs méthodes ont été abordées pour déplacer les lattes, une seule a été retenue et sur la base de cette dernière on a conçu les différentes pièces et organes ainsi qu'on a défini les relations entre les dimensions.

La méthode adoptée permet la **transformation** de la rotation en translation tout en restant lié à la **chaîne cinématique** : moteur – arbre – disque – actionneur – latte.

III.2.2.1.1 Une voie hydraulique, inaccessible

Le fonctionnement de ce système repose sur la mise en place des vérins hydraulique à doubles effets, ces vérins jouent le rôle des actionneurs des lattes.

Ce système hydraulique nécessite pour son fonctionnement :

- ⇒ Une pompe ;
- ⇒ Un moteur ;
- ⇒ Un réseau pour le transfert des fluide ou bien des liquides sous pression ;
- ⇒ Un système de contrôle et de gestion d'une translation restreinte (commande électronique nécessaire).

Les deux derniers éléments posent un problème pour un rabatteur qui tourne complètement et une translation périodique qui doit dépendre de la rotation.

Vue ces contraintes et d'autres liées à son installation, le système hydraulique reste inaccessible pour la configuration élaborée mais théoriquement possible.

III.2.2.1.2 Une voie électromagnétique, coûteuse

Les vérins électromagnétiques sont caractérisés par leur grande précision. Le contrôle de la translation peut se faire par cerveaux électroniques ou bien par des microcontrôleurs programmables dont les données relatives seront structurées sous des algorithmes.

Ces vérins nécessitent de :

- ⇒ L'énergie électrique, fournie par une génératrice qui elle aussi nécessite une énergie mécanique à transformer.
- ⇒ Un réseau électrique de transfert et de commande (microcontrôleurs, cerveaux électroniques ...).

Le problème, en vu, pour ce système c'est son installation et le coût des équipements. Il reste envisageable pour une future robotisation de la moisson.

III.2.2.1.3 Une voie purement mécanique accessible et peu coûteuse

La dernière solution envisagée pour l'animation des lattes repose sur le principe de fonctionnement des mécanismes de transformation de mouvement à contact local, dans lesquels les liaisons entre éléments constitutifs sont des contacts ponctuels soumis à des déplacements relatifs. Les principaux mécanismes de ce genre sont ceux à cames. Les mécanismes à cames sont à la base de tout système mécanique d'automatisme.

Un mécanisme à cames est constitué par un organe moteur, qui comporte un profil formé par une suite de courbes se raccordant le plus souvent tangentiellement, appelé came et un organe entraîné par le premier suivant une loi déterminée, appelé suiveur.

Effectuer la translation par un mécanisme à cames permettra de répondre aux conditions imposées à l'ensemble des mouvements et essentiellement la condition (f).

III.2.2.2 Principe à came

En se basant sur la définition du mécanisme et son principe de fonctionnement, on a conçu une méthode particulière afin d'effectuer cette projection tout en gardant la notion d'une variation géométrique conditionnée par plusieurs paramètres dont la trajectoire représentée par la courbe (f) est le résultat d'une harmonie de mouvements résolue mathématiquement.

en se référant à la définition du mécanisme à came, le mouvement communiqué au suiveur est constitué de périodes élémentaires qui sont fonction de la position angulaire de la came (ou du temps) et qui constituent le cycle du mécanisme. Il existe trois périodes élémentaires, deux dynamiques et une de repos :

- Ⓐ la première est appelée montée, abréviation M ;
- Ⓑ la seconde est désignée par descente, abréviation D ;
- Ⓒ la période de repos est aussi désignée par un état stationnaire, abréviation S.

Une came peut délivrer des cycles variés par juxtaposition d'une suite plus ou moins nombreuse de périodes élémentaires.

Les principaux cycles utilisés sont :

- Ⓐ SMS, très courant, spécialement dans les indexeurs à cames qui en font un usage exclusif (Figure 109 a);

- SMDS, moins fréquent car l'association MD n'est pas très bonne sur le plan dynamique pour les mouvements rapides (Figure 109 b)
- SMSDS, très courant (Figure 109 c) ;
- MD, simple mais employé surtout pour les mouvements lents (figure 109 d)

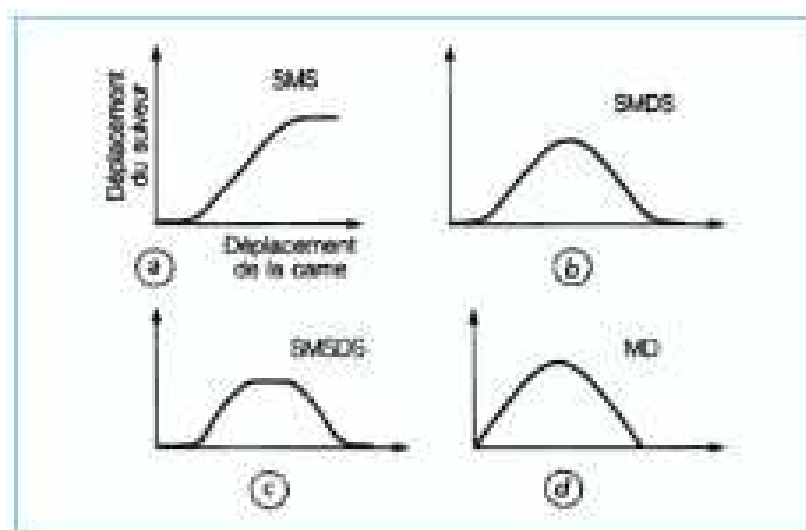


Figure 109: principaux cycles des came.

A la lumière de ces notions, il y a des points communs entre le principe de fonctionnement des cames et celui prononcé pour la résolution du problème, c'est-à-dire le principe de la translation des lattes en profitant de la rotation du rabatteur :

- La projection suit un profil défini au préalable, qui est le profil de la came et qui correspond aux zonages Il reste à définir l'organe moteur et le suiveur ;
- Plusieurs tentatives ont été réalisées pour élaborer ce mécanisme en se basant intégralement sur le principe de fonctionnement à la came ;
- Un problème se pose par rapport aux dimensions, l'emplacement et de la façon la plus fiable pour fonctionner le système : il est difficile de placer la came sur l'arbre près des actionneur et de réaliser la valeur maximale (k_{max}) de la projection. Lorsque le rabatteur tourne ce dernier entraîne aussi avec lui les lattes, alors qu'il faut ou moins un élément fixe pour transformer la rotation en translation.

III.2.2.3 La solution finale

- ☐ Une pièce qui empreinte le profil exact de la courbe (f), elle joue le rôle d'une came fixe ; cette pièce sert de dispositif de guidage de la projection des lattes.
- ☐ Les suiveurs sont les lattes elles-mêmes, les extrémités se coïncident avec le profil de cette came ;
- ☐ L'élément moteur, est celui même de la rotation du rabatteur.

III.2.2.3.1 Le dispositif de guidage

Après plusieurs schémas et esquisses, on a élaboré cette architecture (Figure 110 et 111) :

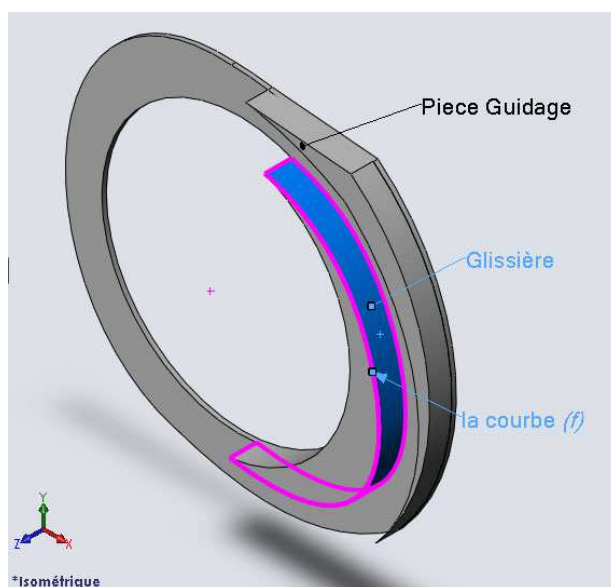


Figure 110 : vue isométrique de la pièce de guidage

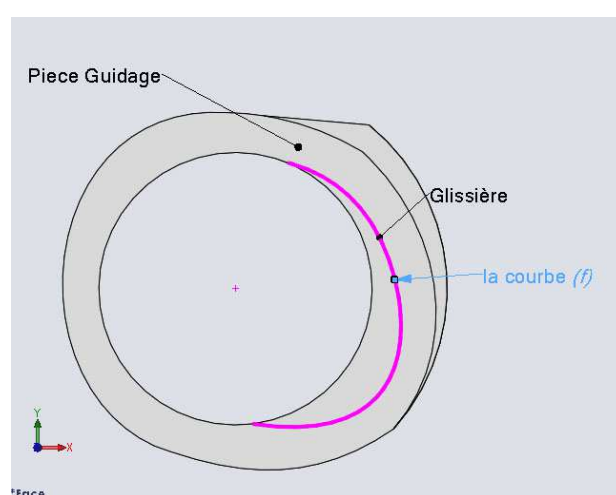


Figure 111: vue de face de la pièce de guidage

III.2.2.3.2 Le suiveur

Les lattes évoluent dans un cycle de 3 phases (développées auparavant p 93-96), les phases correspondent aux zones d'activités prédéfinies Z_0 , Z_1 , Z_2 , Z_3 , Z_4 et Z_5 (Figure 112)

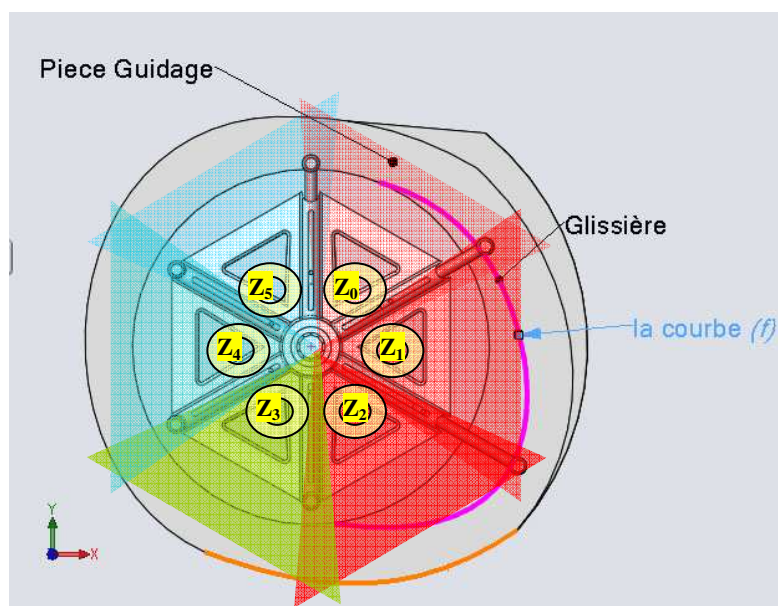


Figure 112: correspondance aux zones d'activités

En respectant les conditions de la projection (lorsque celle-ci est nécessaire), les lattes glissent par un contact tangentiel sur la glissière et suivent le profile de la courbe (f) donné a cette glissière de la pièce de guidage. La rotation se transforme en translation. Les actionneurs, par transfert de mouvement, se projettent en fonction du profile de la courbe. (Figure 113)

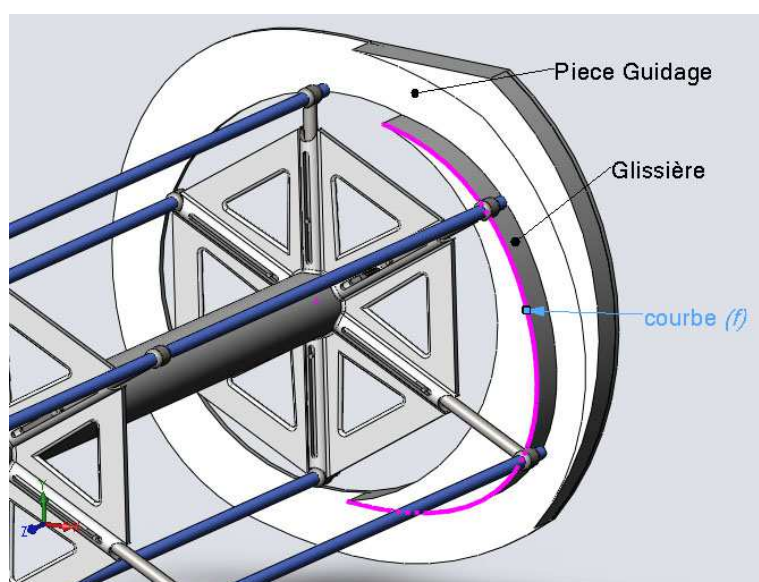


Figure 113: transformation de la rotation en translation

Le contact et le retour des lattes à leurs positions initiales, nécessitent un élément de maintien, ce dernier est assuré par des ressorts adéquats (conçu spécialement pour ce mécanisme).

La figure (figure 114) suivante montre une vue générale du rabatteur avec les deux pièces de guidage placées de part et d'autre.

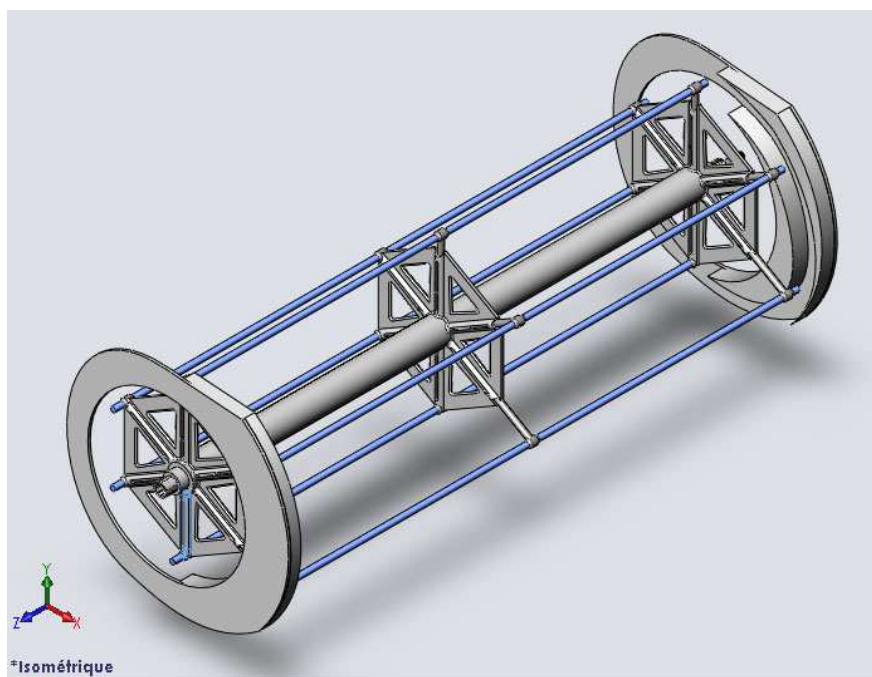


Figure 114: vue isométrique de l'assemblage rabatteur/pièces de guidages

CONCLUSION

Dans cette partie nous avons appliqué les connaissances et les notions acquises pour aborder la résolution du problème posé, la projection et l'élaboration du mécanisme.

La méthodologie adoptée nous a permis de bien identifier la relation « plante - machine » et les paramètres qui conditionnent la réussite du moissonnage. Si un seul des paramètres *inputs* est *invalide* il y a dysfonctionnement du système de moissonnages qui se traduit inévitablement par des pertes.

Les pertes dues à la limite de fonctionnalité du tablier de coupe dans le cas où les plantes sont inclinées d'un angle ayant une valeur non valide (n'a pas été prévue à la conception du système classique) ne doivent plus subsister.

Avant de parvenir à faire les étapes classiques de la moisson, nous avons constaté qu'une étape supplémentaire doit être réalisée pour corriger le paramètre *input invalide* « *Angle d'inclinaison* », nous avons constaté aussi qu'il y'a trois (03) cas de figures qui représente *l'output invalide* :

- △ La latte n'amène pas la tige à la coupe quelque soit les réglages effectuées ;
- △ Les tiges sont coupées mais elles tombent en dehors du tablier de coupe, ou bien les épis sont broyés par la lame de coupe au passage;
- △ Les tiges inclinées passent carrément sous le tablier de coupe.

Le remède de ce problème est de redresser les tiges pour rendre *l'input valide*. Pour cela nous avons modifié la configuration du rabatteur classique afin que les tiges, avant d'être coupées, soit redressées par les lattes, cette configuration permet d'avoir une chaîne cinématique qui exécute des mouvements programmés au préalable.

Le mouvement ajouté au système classique est la projection des lattes ; le mécanisme adapté, transforme la rotation du rabatteur en projection des lattes, dont le principe de base exploité repose sur l'application d'un mécanisme à cames (*mécanisme de transformation de mouvement à contact local*).

Le nouveau système est composé par : des disques qui logent des bras amovibles, ces derniers portent les lattes et permet leurs projection rectiligne guidée par deux pièces qui transforme la rotation du rabatteur suivant une condition qu'on a appelé (*f*).

CONCLUSION GENERALE

Notre travail s'affiche dans le volet des améliorations de la solution mécanique des opérations agricoles, précisément l'opération de la récolte. Le problème de perte à la récolte est un problème crucial en agriculture ; il est impératif de récupérer le maximum de production lors des récoltes sachant que l'investissement a été important et lourd.

Concernant directement notre problème, les pertes en grains dans la récolte des céréales sont très importantes notamment au niveau du tablier de coupe (à la coupe et/ou à la réception) ; ces pertes ont été définies comme étant le résultat d'un problème d'interaction entre la machine et la plante, plus exactement l'interaction entre la conception du système de moissonnage (tablier de coupe) et l'état de la culture (répartition spatiale).

La conception des organes du système de moissonnage est fonction d'un certain nombre de paramètres, ces derniers sont définis comme étant standards et avec une plage de variation admise par les concepteurs, parmi ces paramètres ceux qui définissent l'état de la culture à savoir : la hauteur et le diamètre des tiges, la distance entre plante et l'angle d'inclinaison ; ce dernier est une constante et ne représente qu'un seul cas : la normale des tiges est supposée toujours verticale par rapport au sol (état naturel des plantes).

Le problème d'interaction que nous avons tenté de résoudre résulte d'une variation considérable de *l'angle d'inclinaison* des tiges, qui provoque un changement de *l'état de la culture* ou la valeur de cet angle est proche de l'horizontale, par conséquent un dysfonctionnement dans le système de moissonnage ; cet état est *la verse des cultures* et concernant la machine c'est la *limite de fonctionnement*.

Pour la résolution de ce problème, la solution proposée consiste à concevoir un mécanisme d'adaptation qui permet de corriger le problème d'interaction en soulevant les tiges et les rapprochant le plus possible de la verticale avant le contact de coupe.

Pour cela nous avons agis sur le principe de la modification de la surface de balayage du rabatteur afin que le contact entre les lattes et les tiges très inclinées soit établi ; cette modification est une projection des lattes suivant des consignes à respecter de telle sorte que le balayage suit un rayon variable sous condition par conséquent les lattes dessinent une courbe que nous avons appelé (*f*) et désigné comme étant la condition principale qui régit le mouvement des lattes, plus exactement les relations entre les organes du mécanisme.

Cette courbe appartient à la surface de balayage ; mathématiquement, le point de contact est l'intersection entre cette courbe et la droite qui représente la tige inclinée de la plante, le reste

de cette courbe représente le mouvement (trajectoire des lattes) que l'on souhaite réaliser en fonction des contraintes imposées par la variation géométriques du rabatteur.

Nous n'avons pas donné une interprétation mathématique claire du problème d'interaction et nous savons que cette interprétation facilite en grande partie l'explication du problème et la définition exacte de la courbe (f), nous avons pas donné aussi une interprétation claire du dysfonctionnement du mécanisme du point de vu théorie des mécanismes qui facilite sans doute la compréhension du problème, mais nous avons essayé d'adopter une démarche qui nous permis de mettre en évidence les deux approches (mathématique et théorie de mécanisme).

La démarche que nous avons suivi consisté à :

Remonter jusqu'à l'origine des concepts et les dispositifs en relation avec l'opération de la récolte et retracer l'évolution des principaux éléments qui constituent la moissonneuse batteuse, l'objectif est de comprendre comment la moissonneuse batteuse a été conçue en d'autres termes comment l'homme à trouver la solution mécanique pour l'opération de la récolte. Nous avons constaté qu'il y'avait plusieurs approches pour représenter la solution mécanique, chaque inventeur ou concepteur avait sa propre vision, ce qui explique la diversités des dispositifs et des mécanismes conçus, mais le travail de conception avait un point commun c'est l'interaction *machine – plante*. La meilleure solution mécanique est celle qui représente le mécanisme le plus efficace, le résultat d'une bonne vision.

Le deuxième point de notre démarche, est de mettre la lumière sur la théorie de la conception, l'objectif est de connaître les notions les démarches de la conception et les connaissances nécessaire sur les éléments qui constitue notre problématique. Nous avons constaté que les données (souhaitées) relatives à l'état de la culture, notamment l'angle d'inclinaison, sont manquantes ; comme l'activité de la conception est pluridisciplinaire, certaines disciplines d'appuis nous échappent.

La dernière étape, est la résolution du problème de l'interaction en relation avec notre problématique, que nous avons décrits plus haut.

L'enjeu derrière notre est de passer de l'étape exploitation de la solution mécanique à l'étape de conception, qui est la recherche de cette solution.

Pour mener à bien cette étape, des travaux de recherche spécifiques et agronomiques doivent être effectués sur l'état de la culture, afin d'avoir des données d'appuis scientifiques convenables, qui permettront d'entamer les études de conceptions des dispositifs de récolte avec plus de précision et d'innovation.

Références Bibliographique

1. **ALADAD HASAN (2009)** : conception du système de fabrication de pièces mécaniques en grande série : formalisation de la configuration géométrique (enveloppe) et cinématique de machine-outil reconfiguration (MOR) T H È S E pour obtenir le grade de Docteur de l'École Nationale Supérieure d'Arts et Métiers Spécialité "Mécanique" Pp 209. 221 [En ligne]. Disponible sur : < <http://graduateschool.paristech.fr/these.php?id=2659> >. (Consulté lundi 31 août 2009).
2. **ANONYME (1990): D.H.C (DEERING HARVESTER COMPANY)** :Official Retrospective Exhibition of the Development of Harvesting Machinery for the Paris Exposition of 1900, CHICAGO, U. S. A. Pp 136; [En ligne]. Disponible sur : < <http://www.archive.org/details/officialretrospe00deer> >; (Consulté octobre 2009).
3. **ANONYME (2006): Innovations: Ridley stripper**, article publier sur l'invention de J. Ridely, The State Library of South Australia GPO Box 419 Adelaide SA 5001. [En ligne]. Disponible sur : < <http://www.samemory.sa.gov.au/site/page.cfm?u=323> . (Consulter en 2008).
4. **ANONYME (2007):** <http://www.ruaux-agri.com/>
5. **ANONYME (2008)** : La notion de la fonction de production. Disponible sur : < http://geronim.free.fr/ecoent/cours/la_notion_de_fonction_de_production.htm>. (Consulté le 22.10.2008).
6. **ANONYME 1 (2007):** <http://www.arbre-celtique.com/encyclopedie/battage-7363.htm>
7. **ANONYME 2 (2007):** <http://fr.wikipedia.org/wiki/Moissonneuse-batteuse>
8. **ANONYME 1a (2008):** <http://webmuseo.com/ws/compa-cg28/app/collection/record/212>
9. **ANONYME 1b (2008):** <http://webmuseo.com/ws/compa-cg28/app/collection/record/210>
10. **ANONYME 1c (2008):** <http://webmuseo.com/ws/compa-cg28/app/collection/record/232>
11. **ANONYME 1d (2008):** <http://webmuseo.com/ws/compa-cg28/app/collection/record/250>
12. **ANONYME 1e (2008):** <http://webmuseo.com/ws/compa-cg28/app/collection/record/295>
13. **ANONYME 2 (2008):** <http://www.muzeocollection.co.uk/>
14. **ANONYME 3 (2008):** <http://acl.arts.usyd.edu.au>
15. **ANONYME 4 (2008):** <http://webmuseo.com/ws/compa-cg28/app/collection/record/287>
16. **ANONYME 5 (2008):** <http://www.jtosti.com/musee/photos/foins6.JPG>
17. **ANONYME 6 (2008):** <http://www.flickr.com/photos/12867541@N06/3904114563/>
18. **ANONYME7(2008):**<http://museumvictoria.com.au/sunshine>
19. **ANONYME, (2009):** [http://www.agritechnique.com/battage_\(agriculture\).php](http://www.agritechnique.com/battage_(agriculture).php)
20. **ARTOBOLEVSKI I. (1975)** : les mécanismes dans la technique moderne, mécanisme à leviers, Tome 1, pp 705 édition Mir. Moscou.
21. **BARRAL J.A. (1879)** : Journal de l'agriculture, de la ferme et des maisons de campagne, de l'horticulture de l'économie rurale et des intérêts de la propriété (p 17-22), tome premier, Janvier à Mars année 1879, Paris, Pp1048; [En ligne]. Disponible sur : < <http://www.archive.org/details/journaldelagricu79barr> >; (Consulté octobre 2009).
22. **BERRY P. M., SPINK J. H., GAY A. P. et CRAIGON J. (2003):** A comparison of root and stem lodging risks among winter wheat cultivars, The Journal of Agricultural Science (2003), 141:2:191-202 Cambridge University Press Copyright © 2003 Cambridge University Press doi:10.1017/S002185960300354X .
23. **BERRY PM, STERLING M, SPINK JH, BAKER CJ, SYLVESTER-BRADLEY R, MOONEY SJ, TAMS AR, ENNOS AR, (2004):** Understanding and reducing lodging in cereals. Advances in Agronomy 84, 217-271.
24. **BERRY, P.M, STERLING, M., AND MOONEY, S. J. (2006):** Development of a model of lodging for barley. The Journal of Agronomy and Crop Science, 192, 151-158
25. **BROSSIER JACQUES (1987)** : Système et système de production, Note sur ces concepts, Cah. Sci. Hum. 23 (3-4) 1987 : 377-390. INRA-SAD, 26, bd Docteur-Petitjean, 21100 Dijon. France. [En ligne]. Disponible sur : <http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/pleins_textes_4/sci_hum/24935.pdf > ; (Consulté septembre 2009).

26. **BRUYÈRE J. (2006)** : Contribution à l'optimisation de la conception des engrenages coniques à denture droite Analyse et synthèse de la géométrie et des tolérances. Doctorat Mécanique, ENSAM 2004. [En ligne]. Disponible sur : <http://pastel.paristech.org/2262/01/Thèse_J._Bruyère.pdf> ;(Consulté en août 2009).
27. **BUREAU GEORGES (?)** : La récolte : exemple de la mécanisation indispensable. CIHEAM - Options Méditerranéennes. [En ligne]. Disponible sur : <<http://ressources.ciheam.org/om/pdf/r04/CI010338.pdf>> (consulté en 2008).
28. **C. REBOUL (1976)** : Mode de production et système de culture et d'élevage. *Économie Rurale*, 112. Mars-avril 1976 : p 55-65.
29. **CALAME MATTHIEU (2007)** : Une agriculture pour le XXI^e siècle : manifeste pour une agronomie biologique. p 41, édition Charles Léopold Mayer.38, rue Saint - Sabin paris (France). [En ligne]. Disponible sur : <http://books.google.fr/books?id=NMrt008ploAC&printsec=frontcover&source=gbs_v2_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false>; (consulté en 2009).
30. **CALVEZ J.P. (1990)** : Spécification et Conception des Systèmes, une Méthodologie, ed. Masson, paris, 1990
31. **CHOFFRAY J.M., DOREY F. (1983)** : Développement et gestion des produits nouveaux : concepts, méthodes et applications, MC GRAW-HILL, Paris.
32. **CHUKSIN PETER (2008)**: The Revival of the Gallic Harvester. Article [En ligne]. Disponible sur : <<http://www.triz-journal.com/archives/2008/04/02/>>; (Consulté en 2008).
33. **COCHET HUBERT ; DEVIENNE SOPHIE, (2006)** : Fonctionnement et performances économiques des systèmes de production agricole : une démarche à l'échelle régionale. Note méthodologique Cahiers Agricultures. Pp 6 ; vol. 15, n° 6, novembre-décembre 2006 ; Agro Paris Tech (Ina-PG), Unité de formation et de recherche (UFR).16, rue Claude Bernard, 75005 Paris
34. **COIN LARRY L. (2007)**: The Grain Harvester and the Kalamazoo Connection.[En ligne]. Disponible sur : <http://www.kalamazooshow.com/Articles_html/KLHS_Articles_Grain_Harvester_page.html>(consulté en 2008).
35. **CONNER G. F. (1897)**: THE SCIENCE OF THRESHING. Published by the Union Company Racine Wis. Copyright, G F. CONNER, 1897. All rights reserved. USA. Pp116. [En ligne]. Disponible sur : <<http://www.archive.org/details/scienceofthreshi01conn>>; (Consulté octobre 2009).
36. **DE MONTOR ARTAUD (1837)** : Encyclopédie des gens du monde : répertoire universel des sciences, Vol 8 première partie page 8. [En ligne]. Disponible sur : <http://books.google.fr/books?id=1skUAAAAYAAJ&printsec=frontcover&source=gbs_v2_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false> ; (Consulté en 2009).
37. **DEPECKER LOÏC (2002)** : Entre signe et concept : éléments de terminologie générale ; pp198 ; concours du Conseil Scientifique de l'Université de Paris3. Presses Sorbonne Nouvelle. [En ligne]. Disponible sur : <http://books.google.fr/books?id=FIPEbfecHI0C&dq=concept+domaine+d%E2%80%99application&source=gbs_navlinks_s> ;(Consulté en 2008).
38. **DONNADIEU GERARD, DURAND DANIEL, NEEL DANIELE, NUNEZ EMMANUEL, SAINT-PAUL LIONEL (2003)** : L'Approche systémique : de quoi s'agit-il ?. Synthèse des travaux du Groupe AFSCET : " Diffusion de la pensée systémique". Pp 11, Septembre 2003. [En ligne]. Disponible sur : <<http://www.afscet.asso.fr/SystemicApproach.pdf>> (Consulté en janvier 2009).
39. **FALZON P., BISSERET A., BONNARDEL N., DARSEZ F., DETIENNE F., & VISSER, W. (1990)** : Les activités de conception : l'approche de l'ergonomie cognitive. Communication présentée au colloque « Recherche sur le Design ». Compiègne (France), 17-19 oct. 1990.

40. **FAO (1993)** : Directives pour la Planification de l'Utilisation des Terres. Collection FAO - Développement 1. Glossaire. Département du développement durable. [En ligne]. Disponible sur : < <http://www.fao.org/docrep/003/T0715F/t0715f07.htm>>. (Consulté le 10.07.2008).
41. **FERDINAND P .BEER, E. RUSSELL JOHNSTON, JR:** vector mechanics for engineers, static and dynamics, pp 875, second edition, McGraw-Hill book company USA.1972.
42. **FICHOU PHILIPPE (2004)** : cours sur les systèmes : généralités sur les systèmes.[en ligne]. Disponible sur : < <http://pagesperso-orange.fr/philippe.fichou/documents/Systemes2004.pdf>>. (Consulté le 01.06.2007).
43. **GAUTIER REMY (1995)** : QUALITE EN CONCEPTION DE PRODUITS NOUVEAUX "proposition d'une méthode de fiabilisation du processus de management de l'information". PhD thesis Génie Industriel, Conception de Produits et Innovation, ENSAM p.221 [En ligne]. Disponible sur : < <http://pastel.paristech.org/00000218/>>. (Consulté lundi 31 août 2009).
44. **GOC. M (1976)** : Bulletin des travaux techniques d'essai. Travaux I.B.M.E.R ; ed. .W.R.L. Varsovie.
45. **GREENO FOLLETT LAMBERTON (1912):** OBED HUSSEY, who, of all inventors, made bread cheap, Pp 270; FOLLETT. L. GREENO. USA. . [En ligne]. Disponible sur : < <http://www.archive.org/details/obedhusseywhoofa00greeiala> >; (Consulté octobre 2009).
46. **EINLOO M. (2007):** A Virtual Reality Technology Based Method for Study the Working Process of a Blueberry Harvester's Picking Reel". Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal. Manuscript IT 07 001. Vol. IX. June, 2007.
47. **HELAL YOUSSEF (1986)** : étude des pertes en grains de la table de coupe, cas de la MB ABBASSIA, thèse ingénieur d'état, INA.
48. **HIRSCHHORN JEREMY:** dynamics of machinery. p 72-120, NELSON London.1967.
49. **HOCQUENGHEM A., JAFFARD P. ET CHENON R. (1971)** : Mathématiques, élément de calcul différentiel et intégral ; p379-397 Tome 1, 4e édition, Masson et Cie éditeur 1971, Paris.
50. **KACI F. (2007)** : Etude des pertes en grains sur les moissonneuses batteuses disponibles en Algérie. Thèse de Doctorat d'Etat en Sciences Agronomiques. ENSA (Ex. INA). Décembre 2007.
51. **KANAFOJSKI CZ., KARWOWSKI T. (1972)** : Théorie et construction des machines agricoles. Tome 2 ; p 7-134 ; Edition P.W.R.L. – VARSOVIE.
52. **LE COQ M. (1992)** : Approche intégrative en conception de produits, Thèse de Doctorat, Spécialité Génie Industriel, Ecole Nationale Supérieure d'Arts et Métiers, Laboratoire de Conception de Produits Nouveaux, Paris.
53. **LEBAHAR JEAN-CHARLES (2008)** : L'analyse de l'activité de conception : situations professionnelles, situations didactiques, perspectives communication UMR ADEF – Équipe Gestepro Aix-Marseille Université jc.lebahar@aix-mrs.iufm.fr [En ligne]. Disponible sur : < <http://recherche.aix-mrs.iufm.fr/publ/skhole/pdf/09.15.53-74.pdf> > (Consulté septembre 2009).
54. **LEPLAT J., (1993)** :L'analyse du travail en psychologie ergonomique. Toulouse : Octarès.
55. **MALHOTRA A., THOMAS J.C., CARROLL J.M., MILLER L.A. (1980):** Cognitive processes in design, International Journal of Man-Machine Studies, n°12, 1980, pp. 119-140.
56. **MALRAIN FRANÇOIS, MATTERNE VERONIQUE, MENIEL PATRICE (2002)** : Les paysans gaulois, [III^e siècle - 52 av. J.-C.]. Paris, Errance, 236 p.
57. **MARTIN JEAN (1988)** : Mécanismes de Transformation de Mouvement à Contact Local Techniques – Ingénieur, Référence B5910 ; [En ligne]. Disponible sur :< <http://www.techniques-ingenieur.fr/book/b5910/mecanismes-de-transformation-de-mouvement-a-contact-local.html>> ; (Consulté en 2009).
58. **MENIRU K., RIVARD H., & BEDARD C. (2003):** Specifications for computer-aided conceptual building design. Design Study, 24, 51-72.
59. **MILLER MERRITT FINLEY (1902):** The Evolution Of Reaping Machine, Unite States Department of Agriculture, Washington, Government Printing Office. Pp70, [En ligne]. Disponible sur :< <http://www.archive.org/details/evolutionofreapi00mill>>; (Consulté octobre 2009).

60. **PERRIN JACQUES (2001)** : Conception entre sciences et art : Regards multiples sur la conception. Presses polytechniques et universitaires Romandes. Pp 281. INSA, Juin 2001. [En ligne]. Disponible sur : < http://books.google.fr/books?id=2yZ22L3OdZYC&printsec=frontcover&source=gbs_v2_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false > (consulté en 2007).
61. **PIROTON GERARD (2005)** : Introduction à la systémique : Analyse n° 18. Centre d'animation et de recherche en écologie politique. ETOPIA. Pp 16. Novembre, 2005. [En ligne]. Disponible sur : < <http://www.etopia.be/IMG/pdf/18.systemique.pdf> > (consulté le 19.01.2009).
62. **PRENTIS J. M. (1970)**: dynamics of mechanical systems, pp583 Longman edition, London. 1970.
63. **PREVOST PHILIPPE (1999)** : les bases de l'agriculture. 2e édition. Technique et documentation, Londres.
64. **REZGUI M., BEN MECHLIA N., BIZID E., KALBOUSSI R. ET HAYOUNI R. (2000)**: Etude de la stabilité du rendement de blé dur dans différentes régions de la Tunisie . In Royo C. (ed.), Nachit M.M. (ed.), Di Fonzo N. (ed.), Araus J.L. (ed.) . Durum wheat improvement in the Mediterranean region: New challenges: CIHEAM-IAMZ, 2000. p. 167-172 et R. Hayouni.
65. **SCARAVETTI DOMINIQUE (2004)** : Formalisation préalable d'un problème de conception, pour l'aide à la décision en conception préliminaire. Doctorat Mécanique, ENSAM 2004 [En ligne]. Disponible sur : < <http://pastel.paristech.org/1138/> > ;(Consulté en août 2009).
66. **SHEPARDSON E. S., MARKWARDT E. D., MILLER W.F et REHKUGLER G. D (1970)**: Mechanical harvesting of fruit and vegetables; Physical Sciences, Agricultural Engineering Number 1; New York's food and life sciences bulletin, No.5, December 1970. [En ligne]. Disponible sur : < <http://www.nysaes.cornell.edu/pubs/fls/OCRPDF/FLS-005a.pdf> > (consulté en 2009).
67. **SWIFT R. B. (1897)**: Who Invented the Reaper? An answer to the protest statement said to have been filed at the treasury department. McCormick Harvesting Machine Company. Chicago, U.S.A. Pp 64; [En ligne]. Disponible sur : < <http://www.archive.org/details/whoinventedreape00swifrich> >; (Consulté octobre 2009).
68. **VISSER W. (1987)** : Abandon d'un plan hiérarchique dans une activité de conception. Communication au Colloque scientifique MARI 87 Machines et Réseaux Intelligents - COGNITIVA 87, 18-22 mai, Paris.
69. **VISSER W. (1995)** : « Coût cognitif » comme concept explicatif de la différence entre un plan d'activité et l'organisation effective de cette activité. Communication présentée à l'atelier de conjoncture « La charge cognitive ». Montpellier, Université Paul Valéry, 30 juin, 1er Juillet 1995.
70. **VISSER, W. et HOC, J.-M. (1990)**: Expert software design strategy. In Hoc, T. Green, R. Samurçay & Gilmore (Eds.), Psychology of programming (pp. 235-250). London: Academic Press.
71. **WILLICH A. F. M. (1802)**: Domestic Encyclopedia or a Dictionary of Facts, And Useful Knowledge Vol4 (p 208-213), Pp536. Printed by H. McMillan, Bow-Street, Covent-Garden. London. [En ligne]. Disponible sur : < <http://chestofbooks.com/reference/The-Domestic-Encyclopaedia-Vol4/Thrashing.html> > et < <http://www.archive.org/details/domesticencyclop04williala> > ; (Consulté octobre 2009).
72. **WITMER J. S. (1935)**: Evolution of the Thresher Reprinted from October, 1935 Farm Power. [En ligne]. Disponible sur : < <http://steamtraction.farmcollector.com/Steam-Engines/EVOLUTION-OF-THE-THRESHER.aspx> > ;(consulté en 2008).
73. **WOODRUFF C. E. ABNER (1919)**: EVOLUTION of AMERICAN AGRICULTURE. Illustrated by Dust; Published by Agricultural Workers Industrial Union, No. 400 I.W.W., USA. Pp 86. [En ligne]. Disponible sur : < <http://www.archive.org/details/evolutionofameri00wood> >;(Consulté octobre 2009).

74. **YILMAZ D., AKINCI I. et CAGIRGAN M.I. (2008):** “Effect of Some Threshing Parameters on Sesame Separation”. *Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal*. Manuscript PM 08 004. Vol. X. August, 2008.