

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية و الشعبية

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Institut National Agronomique

المعهد الوطني للعلوم الزراعية

**THESE DE DOCTORAT D'ETAT  
EN  
SCIENCES AGRONOMIQUES**

Présentée

Par

Ferhat KACI

**Etude des pertes en grains sur les moissonneuses batteuses  
disponibles en Algérie**

Soutenue publiquement le : 18 Décembre 2007      devant le jury :

Président	: AIDAOUI Abdellah	Professeur (INA-El-Harrach)
Directeur de thèse	: BEDRANI Slimane	Professeur (INA-El-Harrach)
Membres	: BOUAZIZ Mohamed	Maître de Conférence (ENP-El-Harrach)
	: REGUIEG Liès	Maître de Conférence (INA-El-Harrach)

## Résumé

Cette étude nous a permis d'identifier les causes et d'estimer les pertes quantitatives et qualitatives de grain durant la récolte des céréales avec les principales moissonneuses batteuses disponibles en Algérie ainsi que d'évaluer le coût horaire d'utilisation et le coût d'utilisation à l'hectare d'une moissonneuse batteuse dans nos conditions de travail.

Les pertes quantitatives sont en relation avec la vitesse d'avancement de la machine et sont donc très liées au débit de récolte. Les résultats sont très significatifs ; ils ont montré que le niveau des pertes n'a pas dépassé les 40 kg/ha (2 % du rendement) pour des débits de battage instantanés inférieurs à 34 q/h pour la moissonneuse batteuse « Claas » mais avec la moissonneuse batteuse « Saba » il est nécessaire d'avoir un débit inférieur ou gal à 25 q/h pour garder le même niveau de perte. La moissonneuse batteuse « Claas » est plus performante que la Moissonneuse batteuse « Saba ». Pour des débits plus importants le niveau des pertes a dépassé largement les 100 kg/ha. Dans ces conditions les pourcentages de casse et de déchets relatifs aux grands débits dépendent des modifications des réglages effectuées sur les organes de battage et de nettoyage.

Les pertes qualitatives durant la récolte des céréales sont dues essentiellement aux mauvais réglages des organes de battage de la moissonneuse batteuse. L'humidité du grain influe grandement sur la qualité de battage des céréales. Au cours de la journée l'humidité relative de l'air varie ce qui induit une variation de la teneur en eau du grain. Cette variation implique une correction régulière dans le réglage de la vitesse du batteur et du réglage de l'ouverture batteur / contre batteur dans le but de limiter la casse des grains. Durant cette étude, il a été constaté que le battage à une humidité de 16 % engendre une casse d'environ 1 % du rendement. Il a été constaté aussi que le maintien des paramètres de réglage invariables durant la journée engendre des taux de casse croissants allant jusqu'à 9% du rendement pour une humidité de grain de 10 %. L'ajustement des réglages des organes de battage en fonction des variations de l'humidité du grain a permis de réduire les pertes totales et d'avoir un taux de casse faible de 1 % pour la moissonneuse batteuse « Claas » et de 2,5 % pour la moissonneuse batteuse « Saba ».

Dans nos conditions de travail le coût horaire d'utilisation d'une moissonneuse est de l'ordre de 2600 dinars et le coût d'utilisation à l'hectare de l'ordre de 1300 dinars.

# Grain losses Study on the threshing-machine available in Algeria

## Abstract

This study enabled us to identify the causes and to consider the quantitative and qualitative losses of grain during the harvest of cereals with the principal reaping-machines threshing-machines available in Algeria like evaluating the time cost of use and the cost of implementation to the hectare of a reaping-machine threshing-machine under our working conditions.

The quantitative losses are in relation to the machine speed and are thus much related to the flow of harvest. The results are very significant; they showed that the level of the losses did not exceed the 40 kg/ha (2 % of the output) for instantaneous flows of beating lower than 34 q/h for the threshing-machine " Claas " but with the threshing-machine "Saba " it is necessary to have a lower flow or equal with 25 q/h to keep the same level of loss. The threshing-machine «Claas «is more powerful than the threshing-machine «Saba ". For the more significant flows the level of the losses largely exceeded the 100 kg/ha. Under these conditions the percentages of breakage and waste relating to the great flows depend on the modifications of the adjustments carried out on the bodies of beating and cleaning.

The qualitative losses during the harvest of cereals are due primarily to the bad adjustments of the bodies of beating of the threshing-machine. The moisture of the grain influences largely the quality of beating of cereals. During the day the relative humidity of the air varies what induces a variation of the water content of the grain. This variation implies a regular correction in the regulation the speed of the beater and the adjustment of the opening beater / against beater with an aim of limiting the breakage of the grains. During this study, it was noted that beating with moisture of 16 % generates a breakage from approximately 1 % of the output. It was also noted that invariable parameters of adjustment during the day generates increasing rates of break-in going up to 9% of the output for a moisture of grain of 10 %. the adjustment of the adjustments of the bodies of beating according to the variations of the moisture of the grain maintains it made it possible to reduce the total losses and to have a rate of weak breakage of 1 % for the threshing-machine " Claas " and of 2,5 % for the threshing-machine " Saba ".

Under our working conditions the time cost of use of a threshing-machine is about 2600 dinars and the cost of implementation to the hectare of about 1300 dinars.

## خلاصة

هذه الدراسة قد مكنتنا من التعرف على أسباب وتقدير الخسائر الكمية والنوعية خلال محصول الحبوب مع رئيسي دراسات الحاصدات المتاحة في الجزائر ، وكذلك لتقييم تكلفة الساعة للتشغيل ، وتكلفة استخدام الهكتار الواحد من الحاصدة في منطقتنا وظروف العمل.

الخسائر الكمية بالنسبة إلى سرعة توديه من الآلة وبالتالي فهي ترتبط ارتباطا وثيقا النطاق الترددي الحصاد. نتائج هامة للغاية ، وأظهروا أن مستوى الخسائر لم تتجاوز ال 40 كيلو غراما للهكتار (2 % الغلة) للدعاية لحظة معدلات أقل من 34 ق/سا لتجمع « claas » ولكن " يجمع مع الحاصدة "سبا" ومن الضروري أن يكون هناك تدفق بمعدل أقل من أو يساوي 25 ق/سا تبقى على نفس المستوى من الخسارة. الحاصدة يجمع "claas" هو أكثر كفاءه من يجمع "سبا". "بسرعة اكبر الى مستوى جيد في خسائر تزيد على 100 كيلو غراما للهكتار - وفي ظل هذه الظروف النسب المئوية من الخردة والنفايات تعتمد على تغييرات الإعدادات على و الدرس اعضاء التنظيف.

الخسائر النوعية خلال حصاد الحبوب ترجع ذلك أساسا الدرس ضاء اع ضبط في الى للحاصدة نقص فان محتوى الرطوبة من الحبوب لها تأثيرات على كبيرة نوعي درس الحبوب. وخلال اليوم الرطوبة النسبية للهواء يتفاوت الأمر الذي يؤدي تغييرا الى محتوى الرطوبة للحبوب. هذا التغيير ينطوي على إجراء تصحيح في السرعة العادية للدراس وتحديد الفتحة للدراس/مقابل الدراسات الذي يهدف الى الحد من كسر الحبوب. وخلال هذه الدراسة ، تبين إن الدرس في الرطوبة 16 % المردود من بالمئة 1 كسر الى يؤدي. وقد تبين أيضا أن الاحتفاظ إعدادات ثابت أثناء النهار يؤدي الى زيادة معدلات الكسر حتى 9 % المردود من لرطوبة 10 % من الحبوب.

الحبوب قد رطوبة نسبة الاعتبار بعين الاخذ مع الدراسات الة على التعديلات ضبط « Saba » 2.5 % و "claas" للخاصدة خفضت إجمالي الخسائر ويتميز بانخفاض نسبة الكسر من 1 % . للحاصدة .

## Liste des figures :

Figure 1 : Dispositif de réglage de la hauteur de coupe	7
Figure 2 : Trajectoire effectuée par les lattes du rabatteur	8
Figure 3 : Paramètres de position d'une latte	10
Figure 4 : Réglage de position du rabatteur	13
Figure 5 : Trajectoires décrites par les lattes du rabatteur pour des valeurs de $\lambda$	14
Figure 6 : Action du rabatteur sur du blé dense	15
Figure 7 : Action des lattes sur du blé versé	16
Figure 8 : Réglage des doigts du rabatteur	17
Figure 9 : Trajectoire des doigts	18
Figure 10 : Action des doigts du rabatteur sur le blé (rabattement dans le sens inverse)	19
Figure 11 : Organes de battage	22
Figure 12 : Vitesses absolues maximales	25
Figure 13 : Contrainte $\sigma$ en fonction de la déformation relative du matériel biologique	29
Figure 14 : Influence du taux d'alimentation sur la casse mécanique du grain	30
Figure 15 : Casse en fonction du volume d'alimentation	31
Figure 16 : Casse en fonction de la vitesse de rotation du batteur	31
Figure 17: Mise à niveau horizontal de la machine	36
Figure 18: Présentation des deux modes de battage	39
Figure 19 : Ensemble de battage et de séparation	40
Figure 20 : Machine à un seul rotor	41
Figure 21: Machine à deux rotors	43
Figure 22: Séparateur rotatif	44
Figure 23: Séparateur à double flux	45
Figure 24: Séparateur à cylindres multiples	46
Figure 25: Contrôle de fonctionnement	47
Figure 26: Contrôle de perte de grain	48
Figure 27: Contrôle du poids	49
Figure 28 : Pertes selon le débit de grain pour les machines testées	64
Figure 29: Schéma du dispositif expérimental	70
Figure 30 : Nombre de grains détachés en relation avec la vitesse de rotation (Variété ANZA)	81
Figure 31 : Nombre de grains détachés en relation avec la vitesse de rotation (Variété HIDHAB)	82
Figure 32: Nombre de grains détachés en relation avec la vitesse de rotation (Variété Vitron)	83
Figure 33: Nombre de grains détachés en relation avec la vitesse de rotation (Variété Waha)	84
Figure 34 : Influence de la vitesse du rabatteur sur les pertes en grains	90
Figure 35 : Influence de la vitesse d'avancement de la machine sur les pertes en grains au tablier de coupe	91
Figure 36 : Influence de la position du rabatteur sur les pertes en grains	93
Figure 37 : Influence de la vitesse de travail sur les pertes en grains	97
Figure 38 : Influence du débit du grain sur les pertes pour la moissonneuse batteuse (CLASS)	98
Figure 39: Influence du débit du grain sur les pertes pour la moissonneuse batteuse (SABA)	99
Figure 40 : Influence de l'humidité du grain sur les pertes au tablier de coupe pour les deux Machines	103
Figure 41 : Influence de l'humidité du grain sur le taux de casse pour les deux machine	104
Figure 42 : Influence de la vitesse du batteur sur la casse des grains pour différentes humidités (CLASS)	107
Figure 43 : Influence de la vitesse du batteur sur la casse des grains pour différentes humidités (SABA)	108
Figure 44 : Les charges fixes	121

## Liste des tableaux :

Tableau 1 : Les machines comparées.	52
Tableau 2 : Caractéristiques des moissonneuses batteuses de l'essai.	55
Tableau 3 : Résultats du test 1.	56
Tableau 4 : Résultats du Test 2.	57
Tableau 5 : Résultats du Test 3	58
Tableau 6 : Résultats du test 4	59
Tableau 7 : Résultats du Test 5	60
Tableau 8 : Résultats du Test 6	61
Tableau 9 : Résultats du Test 7	62
Tableau 10 : Résultats débits-pertes des machines	62
Tableau 11 : Grains cassés au seuil de 3%	65
Tableau 12 : Taux d'impuretés au seuil de 1%	65
Tableau 13 : Variation des différents paramètres en fonction des régimes pour l'humidité $H_1$	75
Tableau 14 : Variation des différents paramètres en fonction des régimes pour l'humidité $H_2$	75
Tableau 15 : Variation des différents paramètres en fonction des régimes pour l'humidité $H_3$	75
Tableau 16 : Variation des différents paramètres en fonction des régimes pour l'humidité $H_1$	76
Tableau 17 : Variation des différents paramètres en fonction des régimes pour l'humidité $H_2$	77
Tableau 18 : Variation des différents paramètres en fonction des régimes pour l'humidité $H_3$	77
Tableau 19 : Variation des différents paramètres en fonction des régimes pour l'humidité $H_1$	78
Tableau 20 : Variation des différents paramètres en fonction des régimes pour l'humidité $H_2$	78
Tableau 21 : Variation des différents paramètres en fonction des régimes pour l'humidité $H_3$	78
Tableau 22 : Variation des différents paramètres en fonction des régimes pour l'humidité $H_1$	79
Tableau 23 : Variation des différents paramètres en fonction des régimes pour l'humidité $H_2$	79
Tableau 24 : Variation des différents paramètres en fonction des régimes pour l'humidité $H_3$	80
Tableau 25 : Vitesse de rotation du rabatteur en relation avec les pertes	89
Tableau 26 : Vitesse d'avancement de la machine en relation avec les pertes	90
Tableau 27 : Hauteur de position du rabatteur en relation avec les pertes	92
Tableau 28 : Pertes en grains en fonction de la vitesse d'avancement	96
Tableau 29 : Pertes $P_t$ (kg/ha) au tablier de coupe en fonction de l'humidité	102
Tableau 30 : Taux de casse des grains $T_c$ (%) en fonction de l'humidité pour les deux machines.	103
Tableau 31 : Pertes en grains $P_t$ sur andain en fonction de l'humidité	105
Tableau 32 : pertes en grains sur andain en fonction de l'humidité	105
Tableau 33 : Influence de la vitesse du batteur sur l'évolution du taux de casse (CLAAS)	106
Tableau 34 : Influence de la vitesse du batteur sur l'évolution du taux de casse (SABA)	106
Tableau 35 : Combinaisons des réglages, par parcelle, réalisés lors des essais	111
Tableau 36 : Etat du blé au moment de la récolte	113
Tableau 37 : Résultats expérimentaux des paramètres contrôlés de la parcelle 1.	113
Tableau 38 : Résultats expérimentaux des paramètres contrôlés de la parcelle 2.	114
Tableau 39 : Equations des paramètres étudiés, parcelle 1.	114
Tableau 40 : Equations des paramètres étudiés, parcelle 2.	114
Tableau 41 : Combinaisons de réglages pour des pertes admissibles	115
Tableau 42 : Combinaisons de réglages pour une qualité de travail optimale	116
Tableau 43 : Combinaisons de réglages pour des pertes admissibles.	116
Tableau 44 : Combinaisons de réglages pour une qualité de travail optimale	117
Tableau 45 : Détermination du taux d'amortissement et de la valeur résiduelle en fonction de la durée d'utilisation.	123

# SOMMAIRE

<b>INTRODUCTION GENERALE ET PROBLEMATIQUE</b>	1
<b>PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE</b>	
<b>Chapitre I: Etude sur les pertes en grain.</b>	5
1. Les pertes au tablier de coupe.	6
1.1. Introduction.	6
1.2. Théorie de travail du rabatteur	7
1.2.1. Cinématique du rabatteur	8
1.2.2. Influence du coefficient cinématique ( $\lambda$ ) sur les pertes en grain	20
2. Les pertes au batteur.	21
2.1. Processus de battage tangentiel	21
2.2. Energétique du mécanisme de battage	23
2.3. Cinématique et dynamique du processus de battage	25
2.3.1. Cinématique	25
2.3.2. Dynamique	26
2.4. Facteur influençant l'efficacité de battage	28
2.4.1. Paramètres de la récolte	28
2.4.1.1. Influence de l'humidité	28
2.4.1.2. Influence de la variété	28
2.4.1.3. Propriété mécanique du grain	29
2.4.2. Les paramètres constructifs de la machine	30
2.4.2.1. Influence de la vitesse d'avancement de la machine	30
2.4.2.2. Influence de la vitesse du batteur	32
2.4.2.3. Influence de l'ouverture de battage	32
2.4.2.4. Influence du diamètre du batteur	33
2.4.2.5. Influence de la longueur du batteur	33
3. Les pertes à l'arrière de la machine	33
3.1. Les pertes aux secoueurs	33
3.2. Les pertes aux grilles de nettoyage	33
<b>Chapitre II : Tendances actuelles dans la construction des moissonneuses batteuses</b>	35
Introduction	35
1. Amélioration et nouveauté technologique au niveau de la machine et du tablier de coupe	35
2. Nouvelles conceptions dans les organes de battage, de séparation et de nettoyage	37
3. Contrôle de fonctionnement et de performance	46
3.1. Contrôle de fonctionnement	47
3.2. Contrôle performance	48
3.3. Utilisation du G.P.S.	50
<b>Chapitre III : Contrôle de performance de cinq moissonneuses batteuses</b>	52
1. Protocole des tests de moissonneuses batteuses	52
1.1. Objectif	52
1.2. Lieu de l'essai	52
1.3. Les machines comparées	52
1.4. Tests sur les pertes et la qualité du grain en fonction du débit de récolte	53
1.5. Les mesures	53
1.5.1. Les conditions de déroulement de l'essai	53
1.5.2. Les réglages	53
1.5.3. Le débit de récolte	53
1.5.4. Les pertes en grain	53
1.5.5. Qualité de battage-nettoyage	53
1.5.6. Mesure de hauteur de coupe	53

2. Conditions pratiques des tests	54
2.1. Plan du dispositif de l'essai	54
2.2 La parcelle de l'essai	54
2.3. Les caractéristiques des moissonneuses batteuses	55
3. Les résultats des tests	56
3.1. Résultat du test 1: objectif 150 q/h	56
3.2. Résultat du test 2: objectif 170 q/h	57
3.3. Résultat du test 3: objectif 190 q/h	58
3.4. Résultat du test 4: objectif 210 q/h	59
3.5. Résultat du test 5 : objectif 230 q/h	60
3.6. Résultat du test 6: objectif 250 q/h	61
3.7. Résultat du test 7: objectif 270 q/h	62
4. Synthèse des résultats	63
4.1. Résultats debit-pertes des machines	63
4.2. Résultats de la casse des grains et des impuretés	65
4.2.1. Grains cassés	65
4.2.2. Impuretés	65
<b>Conclusion de la partie bibliographique</b>	66

## **PARTIE EXPERIMENTALE**

Introduction	68
--------------	----

### **Première Expérimentation : Essai de détermination de la force de détachement du grain de l'épi**

1. Dispositif expérimental	69
2. Protocole expérimental	71
3. Matériels et méthodes	72
3.1. Matériel	72
3.1.1. Matériel végétal	72
3.1.1.1 Blé tendre	72
3.1.1.2. Blé dur	73
3.1.2. Autre matériel	73
3.2. Méthodes expérimentales	73
3.2.1. Mesure de l'humidité	73
3.2.2. Calcul de la force centrifuge	74
4. Résultats et discussion	74
4.1. Résultats	74
4.1.1. Variété ANZA	74
4.1.2. Variété HIDHAB	76
4.1.3. Variété VTRON	77
4.1.4. Variété WAHA	79
4.2. Interprétations	80
4.2.1. Blé tendre	80
4.2.1.1. Variété ANZA	80
4.2.1.2. Variété HIDHAB	81
4.2.2. Blé dur	83
4.2.2.1. Variété Vitron	83
4.2.2.2. Variété WAHA	84
Conclusion	85

<b>Deuxième Expérimentation :</b>	
<b>Etude des pertes en grain au tablier de coupe de la moissonneuse batteuse.</b>	88
	89
1. Matériels et méthodes	89
2. Résultats et discussion	90
2.1. Influence de la vitesse de rotation du rabatteur sur les pertes en grain	92
2.2. Influence de la vitesse d'avancement de la machine sur les pertes en grain	93
2.3. Influence de la hauteur de position du rabatteur sur les pertes en grain	
Conclusion	
<b>Troisième Expérimentation :</b>	
<b>Etude de la relation entre le débit de grain et les pertes sur les machines de récolte utilisées en Algérie</b>	94
1. Matériels et méthodes	94
2. Résultats et discussion	96
Conclusion	99
<b>Quatrième Expérimentation :</b>	
<b>Influence de l'humidité du grain sur les conditions de battage du blé.</b>	100
1. Matériel et méthodes	100
2. Résultats et discussions	101
Conclusion	109
<b>Cinquième Expérimentation :</b>	
<b>Etude des pertes en grain sur la moissonneuse batteuse « axial-flow »</b>	110
1. Matériel et méthodes	110
1.1. Matériel	110
1.1.1. Matériel de récolte	110
1.1.2. Matériel végétal	110
1.2. Méthodes	110
2. Résultats et discussion	112
Conclusion	118
<b>Partie Economique :</b>	
<b>Détermination du coût d'utilisation des moissonneuses batteuses.</b>	119
1. L'étude du coût d'utilisation des moissonneuses batteuses	120
2. Le calcul prévisionnel des charges fixes	123
3. Le calcul du coût prévisionnel d'utilisation	125
<b>CONCLUSION GENERALE</b>	127
<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES</b>	129

## **Introduction et problématique**

La dépendance alimentaire de l'Algérie constitue un fait établi, certain et éloquent : l'Algérie est classée cinquième grand importateur mondial de blé. A la fin de l'exercice 2007, les importations nationales en blé atteindraient 5,3 millions de tonnes selon les prévisions du Centre Internationales des Céréales (CIC) contre 4,7 millions durant 2006. Sa facture des céréales et dérivés avait atteint 1,3 milliard de dollars durant les neuf premiers mois de l'année en cours selon le Centre National de l'Informatique et des Statistiques (CNIS) des douanes.

Et pourtant, chaque année les céréales d'hiver et les jachères, qui font partie de la rotation céréales-jachère occupent plus de six millions d'hectares soit 82% de la totalité de la surface agricole utile (huit millions d'hectares). Durant la campagne 2006-2007 la superficie emblavée était de 3,2 millions d'hectares (Ministère de l'Agriculture). Les rendements demeurent faibles (10 à 12 qx/ha). La production céréalière s'établit en moyenne entre 3 et 4 millions de tonnes et reste loin de la demande évaluée à 7 millions de tonnes. Le blé constitue les trois quarts de cette production. Les pertes en grain peuvent aller jusqu'à 8% de la production soit 240.000 tonnes, 48 millions d'Euros à raison de 200 Euros la tonne. Une question se pose : comment accroître la production des céréales et réduire ces pertes ?

Il faut donc, et le plus rapidement possible, augmenter les ressources locales en céréales alimentaires et réduire le décalage qui existe entre l'offre et la demande.

Cette augmentation peut être envisagée de deux façons :

- ✓ Par l'augmentation des superficies consacrées aux céréales : c'est la solution la plus improbable. On ne peut guère penser à augmenter sérieusement la superficie des terres labourables tellement elles ne sont pas de conquête facile. La grande culture de céréales est actuellement concentrée dans les régions arides et semi-arides de l'Algérie, comprises dans la zone tellienne et bornée par les limites intangibles que constituent au Nord, l'isohyète de 600 mm et du Sud l'isohyète de 300 mm.
  - Au dessus, les céréales laissent la place à d'autres cultures ;
  - En dessous, cette zone s'oppose à leur extension (pluviométrie faible).
  
- ✓ Par l'augmentation des rendements :

Il faut donc se tourner vers une meilleure utilisation des terres labourables existantes pour améliorer les rendements actuels.

Il faut tout d'abord mettre le milieu de son côté en localisant et en intensifiant les céréales dans les seules régions où les potentialités s'affirment pleinement. Il faut aussi se tourner vers la transformation et l'amélioration du modèle traditionnel pour l'élever au niveau de la céréaliculture conduite en milieu intensif. Cependant, il ne faut pas trop s'illusionner sur la rapidité de cette amélioration et sous estimer les contraintes qui sont de divers ordres :

- Les contraintes du milieu : adversité climatique fréquente (pluviométrie irrégulière, gelées, grêle, sirocco...). L'examen des statistiques montre que le climat reste le facteur prédominant qui conditionne fortement le niveau des récoltes.
- Les contraintes de structure : les efforts d'intensification et de mécanisation deviennent très difficiles avec 60% des superficies situées sur des terres peu productives et le morcellement d'une partie des terres.
- Les contraintes techniques : travail du sol sommaire, faible utilisation de la semence sélectionnée, faible taux d'utilisation des engrais azotés et phosphatés et mauvaise application des techniques culturales.
- Les contraintes socio-économiques : comparativement aux autres groupes de culture, le revenu de céréaliculture reste relativement bas. La céréaliculture est utilisée comme support à l'élevage dans un système extensif.

D'après les résultats d'une enquête socio-économique réalisée par l'ITGC sur six wilayas (Sétif, Oum-El-Bouaghi, Guelma, Mila, Constantine, et Tiaret), touchant 180 exploitations, si on occulte les conditions climatiques, il ressort qu'en plus des contraintes socio-économiques et naturelles la taille réduite d'une grande majorité des exploitations ne permet pas l'application d'un itinéraire technique adéquat notamment en matière de mécanisation. Le morcellement des terres et le relief bien souvent accidenté ne permettent pas le recours aux techniques mécanisées du travail du sol, de semis, d'entretien et de récolte. L'inadaptation du matériel agricole aux exigences des cultures est aussi bien soulignée.

La mécanisation des opérations culturales et l'adaptation du matériel agricole sont des éléments incontournables pour l'amélioration de la productivité de la céréaliculture.

Le travail du sol est une opération déterminante dans la conduite des céréales et l'optimisation des rendements. Il s'agit d'un ensemble d'opérations culturales en vue de la mise en place de la culture et visant plusieurs objectifs dont les plus importantes sont :

- ✓ Amélioration des propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol ;
- ✓ La mise en place des cultures ;
- ✓ La destruction des mauvaises herbes.

Malheureusement, en milieu productif et dans la grande majorité des exploitations agricoles l'itinéraire technique est très mal appliqué. Les travaux du sol sont réalisés très sommairement, les opérations de fertilisation et de désherbage se font dans des conditions difficiles et souvent sans le respect des règles d'utilisation (dose, période, mode etc...).

La récolte, au même titre que l'opération de travail du sol, constitue une étape importante dans la culture des céréales.

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 des moissonneuses-batteuses sont des atouts majeurs dans la réussite de cette opération. Malheureusement, souvent le matériel de récolte n'est pas disponible à la maturité du grain et souvent aussi les réglages apportés ne sont pas adéquats aux conditions de la récolte ce qui engendre d'importantes pertes en grains.

Comment peut-on se permettre une perte importante en grains vu les besoins et le prix payé à l'importation et vu aussi les investissements consentis ?

Quelle explication peut-on avancer quand on sait que de nos jours les machines sont performantes et les techniques de récolte maîtrisées dans de nombreux pays ?

Les hypothèses de réponse à vérifier sont :

- ❖ **Hypothèse 1** : La non maîtrise de l'organisation des chantiers de récolte et des coûts de fonctionnement des moissonneuses batteuses implique-t-elle un désintéressement lors de l'exécution de l'opération de récolte ?
  
- ❖ **Hypothèse 2** : Le manque de qualification et la faiblesse de la technicité de la main d'œuvre font que les moissonneuses-batteuses sont mal réglées, mal utilisées.

- ❖ **Hypothèse 3** : Récolte-t-on à la bonne période ? La période de récolte est déterminée par l'humidité du grain, si la moisson est faite trop tôt, le grain est humide, ce qui engendre un bourrage au niveau des organes de battage de la machine de récolte et le grain ne peut être stocké. Si la moisson est retardée par manque de machines ou autres, le grain devient sec, fragile et lors du passage de la moissonneuse-batteuse, on observe un égrenage important.

Pour mener ce travail à son terme et valider les hypothèses centrales énoncées, il nous semble indispensable de structurer ce travail en trois parties :

- La première partie sera consacrée à l'étude bibliographique sur les pertes à la récolte, les conditions d'utilisation et les performances des machines de récolte.
- La deuxième partie sera consacrée à l'expérimentation des machines de récolte disponibles en Algérie en vue de déterminer les pertes et de proposer des solutions adéquates.
- La troisième partie sera économique et portera sur les coûts de fonctionnement des moissonneuses batteuses dans les conditions algériennes.

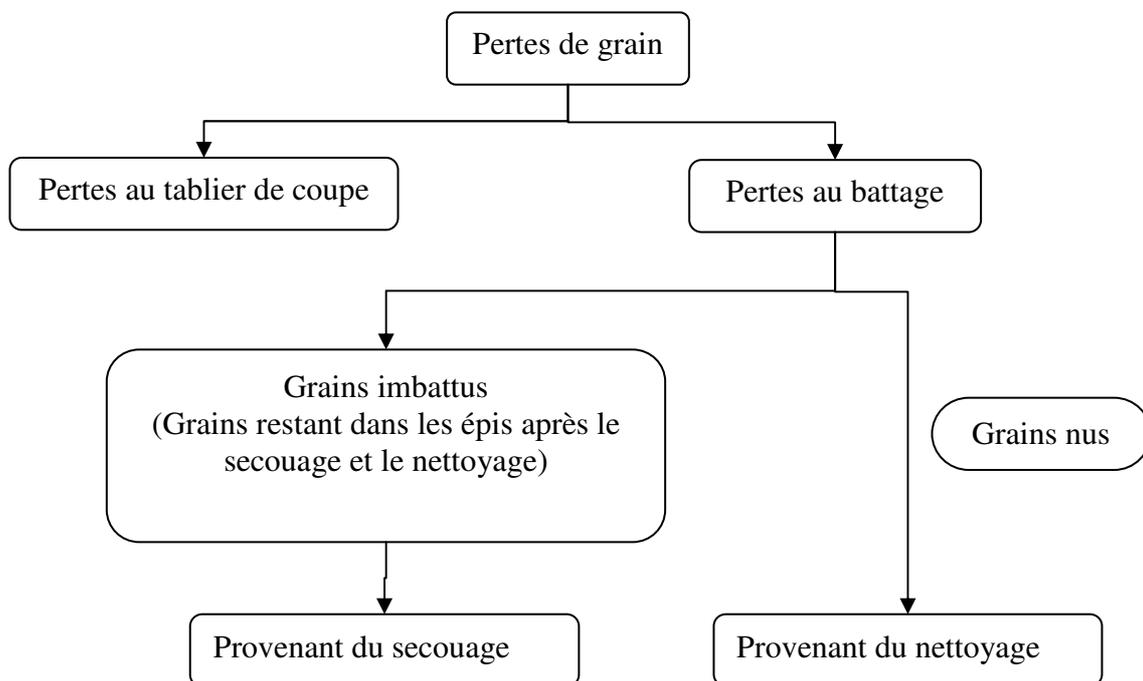
## CHAPITRE I : ETUDE SUR LES PERTES EN GRAIN

Les Pertes en grain lors de l'évolution d'une moissonneuse-batteuse sur le terrain peuvent être très importantes si l'opération de moisson-battage ne bénéficie pas de toute l'attention voulue.

Une étude sérieuse et précise doit être réalisée sur les principaux paramètres caractérisant la culture :

- Le rendement ;
- L'humidité du grain et de la paille ;
- L'état de verse de la culture ;
- La propreté de culture (éviter les adventices).

A la faveur des conditions de la récolte des réglages corrects doivent être opérés au niveau des organes de la moissonneuse-batteuse susceptibles d'induire des pertes. Ces dernières, classées suivant leur origine [2 – 12 – 18], sont définies comme suit :



On peut avoir aussi des pertes à l'avant de la machine par égrenage à la faveur de pluie et du vent surtout quand le grain est sec. Ces pertes ont lieu avant la récolte et ne sont donc pas imputables à la moissonneuse-batteuse.

## **1. Les pertes au tablier de coupe**

### **1.1. Introduction**

Le rabatteur engendre des pertes par choc et frottement sur toute la largeur de travail. Une trop faible vitesse de rotation du rabatteur entraîne surtout des pertes par frottement des griffes tandis qu'une vitesse de rotation trop élevée de cet organe occasionne principalement des pertes par choc des griffes [29].

Une action du rabatteur ménageant la récolte peut-être assurée lorsque la vitesse d'avancement de la machine est inférieure à la vitesse périphérique des lattes et que les griffes sont légèrement inclinées vers l'arrière.

Il faudrait aussi que le rabatteur fonctionne à proximité de l'angle du tablier de coupe afin que les grains qui tombent éventuellement puissent être recueillis.

Si le tablier de coupe est insuffisamment adapté aux inégalités du sol, si la hauteur de coupe est incorrecte et s'il n'y a pas suffisamment de releveurs d'épis, les épis pliés ou pendants sont coupés par la lame faucheuse ce qui engendre une perte importante.

Les tiges très inclinées doivent être redressées pour éviter que les épis ne soient pris par la lame au passage suivant.

Lorsqu'une récolte versée est fortement mélangée à des plantes vertes (adventices) on doit relever les diviseurs, ce qui permet d'éviter des pertes par arrachage d'épis et d'éviter des incidents mécaniques. Notant que les pertes par épis arrachés, coupés ou restés au sol sont importantes, chaque épi renferme en effet 40 à 60 grains.

## 1.2. Théorie de travail du rabatteur

Pour bien comprendre l'origine des pertes à l'avant de la machine, il est nécessaire de comprendre le fonctionnement et la théorie du principal organe du tablier de coupe qui est le rabatteur.

Le rabatteur sert à rabattre les épis à couper et à les présenter à la barre de coupe. Il est composé de lattes liées à un arbre tournant ; durant le travail, il se trouve à une hauteur «H » appropriée par rapport au sol et il est avancé d'une certaine distance « S » par rapport à l'organe de coupe (Fig.1).

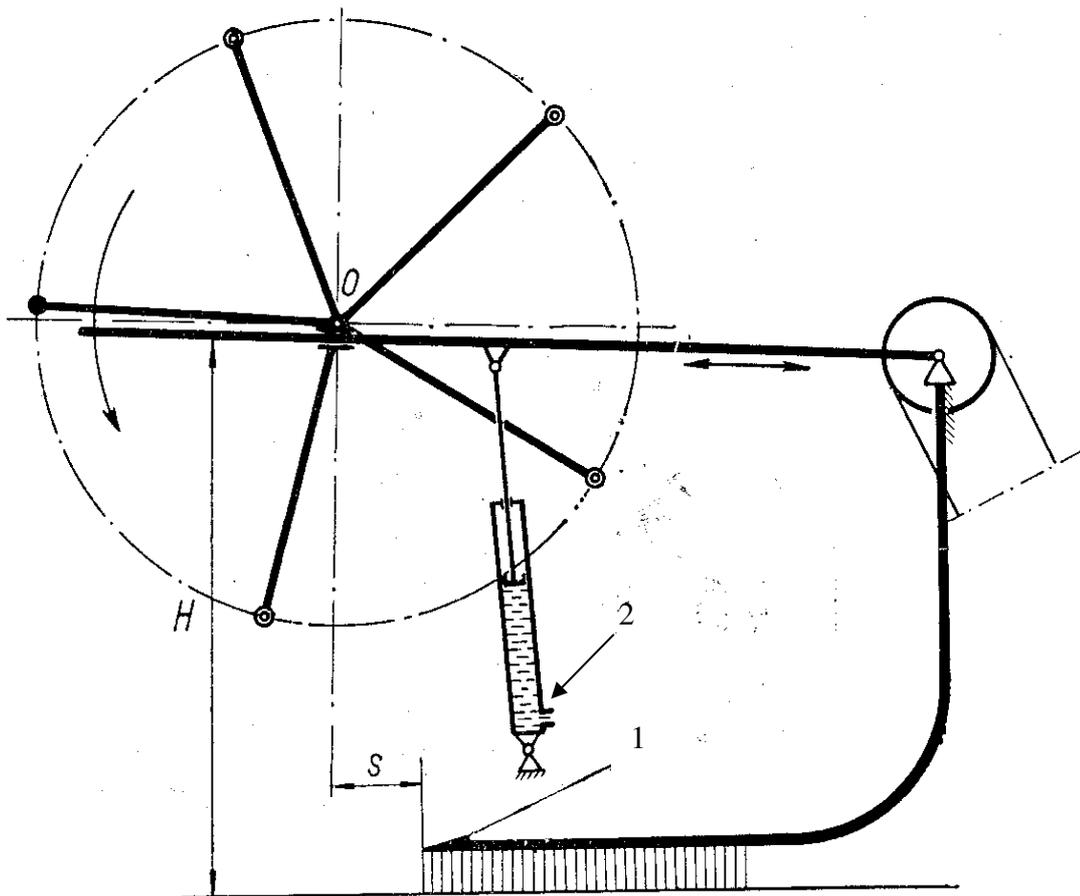


Figure 1 : Dispositif de réglage de la hauteur du rabatteur

1: Organe de coupe, 2: Vérin hydraulique, H: Hauteur de position du rabatteur, S: Distance entre l'arbre du rabatteur et l'organe de coupe.

### 1.2.1. Cinématique du rabatteur

Les trajectoires réalisées par les différentes lattes représentent une cycloïde raccourcie

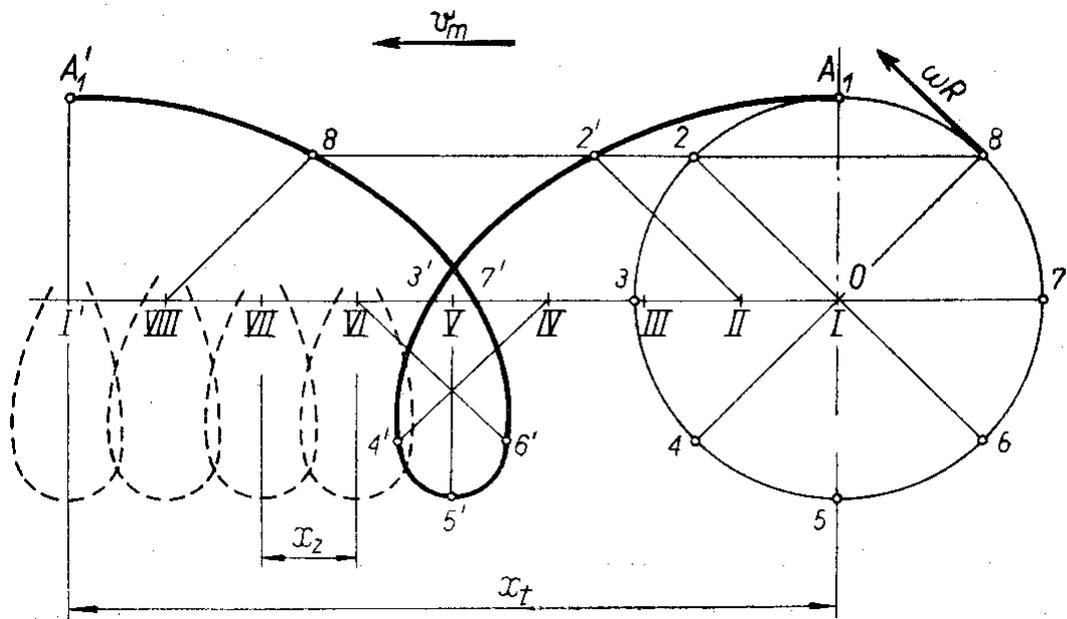


Figure 2 : Trajectoire effectuée par les lattes du rabatteur [28].

$X_t$  : Trajectoire de l'arbre en rotation.

$X_z$  : Distance entre les axes de symétrie de deux boucles successives de la cycloïde.

Après un tour du rabatteur lors du déplacement de la machine, la distance  $X_t$  parcourue par une latte a l'équation suivante :

$$X_t = V_m \cdot t = V_m \cdot 2\pi / \omega = V_m \cdot 2\pi \cdot R / \omega \cdot R \quad (1)$$

$V_m$  : Vitesse d'avancement de machine (m/s) ;

$t$  : temps de réalisation d'un tour du rabatteur (s) ;

$\omega$  : Vitesse angulaire du rabatteur (rd/s) ;

$R$  : Rayon du rabatteur (m) ;

$\omega .R$  : Vitesse périphérique des lattes du rabatteur (m/s).

Si :  $\lambda = \omega .R / V_m$

$\lambda$  : Coefficient cinématique liant la vitesse périphérique des lattes et la vitesse d'avancement de la machine.

La relation (1) devient :

$$X_t = 2\pi.R / \lambda$$

La distance parcourue par deux lattes successives est :

$$X_z = X_t / z$$

Z : nombre de lattes.

La distance  $X_z$  représente aussi l'épaisseur de la portion de plantes (touffe de céréales) prises par chaque latte ; cette épaisseur diminue quand le coefficient  $\lambda$  devient important.

Les positions successives que peut prendre l'arbre du rabatteur pour une même portion de plantes sont  $O_1, O_2, O_3$  (Fig.3), les coordonnées du point  $A_2$  sont exprimées de la manière suivante :

$$x = OO_2 + R \cos \omega t = V_m t + R \cos \omega t \quad (2)$$

$$y = H + h - R \sin \omega t.$$

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 :

$$V_x = \frac{dx}{dt} = V_m - R \omega \sin \omega t$$

$$V_y = \frac{dy}{dt} = R \omega \cos \omega t$$



Au contact avec les épis, la vitesse  $V$  doit être orientée vers le bas, c'est-à-dire que la composante horizontale  $v_x$  doit être égal à « Zéro » sinon il va y avoir égrenage des épis. Si la vitesse  $v$  est orientée vers la gauche, la latte orientera les épis vers l'avant contrairement à la nécessité.

Le sens de la vitesse  $v_x$  est correct et vertical si :

$$V_m - R \omega \sin \omega t_1 = 0 \quad (3)$$

Donc :

$$\sin \omega t_1 = \frac{v_m}{R \omega} = \frac{1}{\lambda}$$

Si  $v_x < 0$   $v_m - R \omega \sin \omega t < 0$

et  $v_m < R \omega \sin \omega t$

Quand  $\sin \omega t = 1 \rightarrow V_m < R \omega$

$V_m < R \omega$  constitue une condition nécessaire pour rabattre les épis.

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  $\lambda$ .

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  $\lambda$ . C'est pourquoi en pratique, on rencontre des rabatteurs à différents nombres de lattes et de valeur  $\lambda$  (les valeurs normales de  $\lambda$  varient entre 1,2 et 2,5).

Selon [20] le coefficient cinématique  $\lambda$  doit être égal à (1,2 ou 1,3) pour des cultures dressées. Tenant compte des relations (2) et (3),  $R$  connu et la valeur de  $\lambda$  supposée, on peut déterminer la position de l'axe du rabatteur au dessus de l'organe de coupe (Fig. 3).

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

$L$  : hauteur moyenne des tiges;

$h$  : hauteur de coupe.

La hauteur de positionnement ( $H$ ) de l'arbre du rabatteur dépend de la hauteur de coupe des tiges. Ce dernier paramètre est fonction des variétés à couper et des conditions végétales en général. On ne peut donc pas fixer la hauteur de l'axe du rabatteur puisque  $H$  est aussi fonction de  $\lambda$ .

Comme la vitesse de rotation du rabatteur est indépendante de la vitesse d'avancement de la machine, on peut déterminer la plus haute et la plus basse position du rabatteur comme suit : (Fig. 4).

$$H_{\max} = L_{\max} - h_{\max} + \frac{R}{\lambda_{\min}}$$

$$H_{\min} = L_{\min} - h_{\min} + \frac{R}{\lambda_{\max}}$$

En pratique, on a :

$$H_{\min} \geq R + (5 \text{ à } 10) \text{ cm.}$$

Le déplacement du rabatteur dans le sens vertical est :

$$H_{\max} - H_{\min} = L_{\max} - L_{\min} - (h_{\max} + h_{\min}) + R \left( \frac{1}{\lambda_{\min}} - \frac{1}{\lambda_{\max}} \right)$$

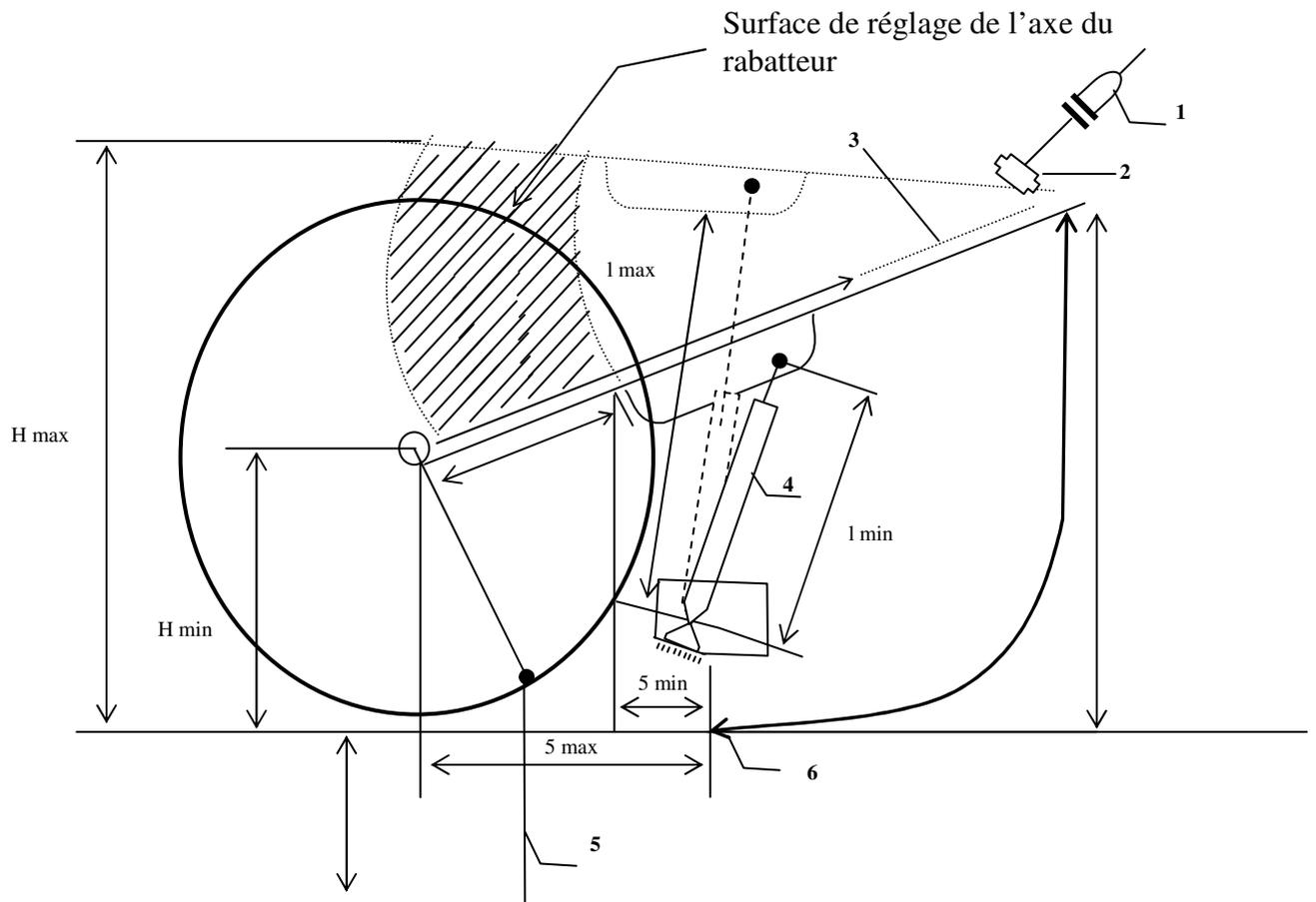


Figure 4 : Réglage de position du rabatteur [28].

1 : Manivelle à bras (poste du conducteur), 2 : Engrenage, 3 : Crémaillère, 4 : Vérin, 5 : Doigt du rabatteur, 6 : Lame de coupe.

Sur la figure 4 on a représenté le schéma de réglage de la position du rabatteur dans le sens horizontal et vertical, dans le sens vertical en agissant sur la longueur du vérin (4), dans le sens horizontal en agissant sur le pignon (2) et la crémaillère (3). Le rayon du rabatteur doit être choisi de telle façon que les lattes poussent les tiges au dessus de leur centre de gravité pendant le rabattement des plantes ; dans le cas contraire, les tiges coupées peuvent facilement sortir de l'action des lattes et tomber devant l'organe de coupe.

En pratique, on prend cinq à six lattes et un rayon de 500 à 850 mm.

La quantité de plante prise par chaque latte est fonction de la densité de la récolte et de la vitesse de rotation du rabatteur (largeur active de la boucle de cycloïde  $A_2-A_4$ ) (Fig .3).

Dans le cas où la densité est faible, les épis à rabattre échappent à l'action des lattes et les pertes sont importantes.

Le même phénomène se produit quand le rabatteur est trop loin de la barre de coupe, pour cette raison, la possibilité de changement de la position du rabatteur dans le sens horizontal et vertical est nécessaire pour un travail correct de l'organe de coupe.

La figure 5 représente les trajectoires des lattes pour deux valeurs différentes de  $\lambda$  ; nous constatons bien que les lattes ne peuvent pas rabattre les épis vers l'organe de coupe. Il faut augmenter la valeur de  $\lambda$  (Fig.6) pour qu'il y ait recouvrement partiel de la boucle cycloïde (partie hachurée) ; dans ce cas les tiges sont prises par petits bouquets, ce qui facilite la tâche de l'organe de coupe.

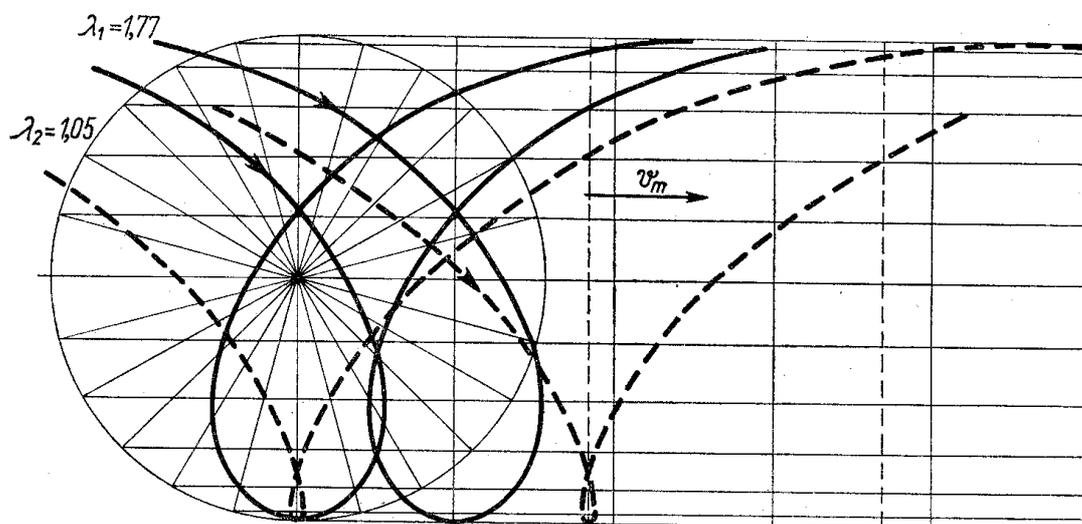


Figure 5 : Trajectoires décrites par les lattes du rabatteur pour des valeurs de  $\lambda$  [28].

$V_m$  : 1, 25 m/s,  $R$  : 600mm,  $Z$  : 05 lattes,  $n_1$  : 21 tr/mn (lignes discontinues),  $n_2$  : 39 tr/mn (lignes continues).

Un tour complet du rabatteur correspond à :

$$T = \frac{2\pi}{\omega}$$

$\omega$  : Vitesse angulaire du rabatteur en (rd/s)

Le temps qui s'écoule entre l'action de deux lattes successives correspond à :

$$t = \frac{T}{z} = \frac{2\pi}{\omega \cdot z}$$

$z$  : nombre de lattes.

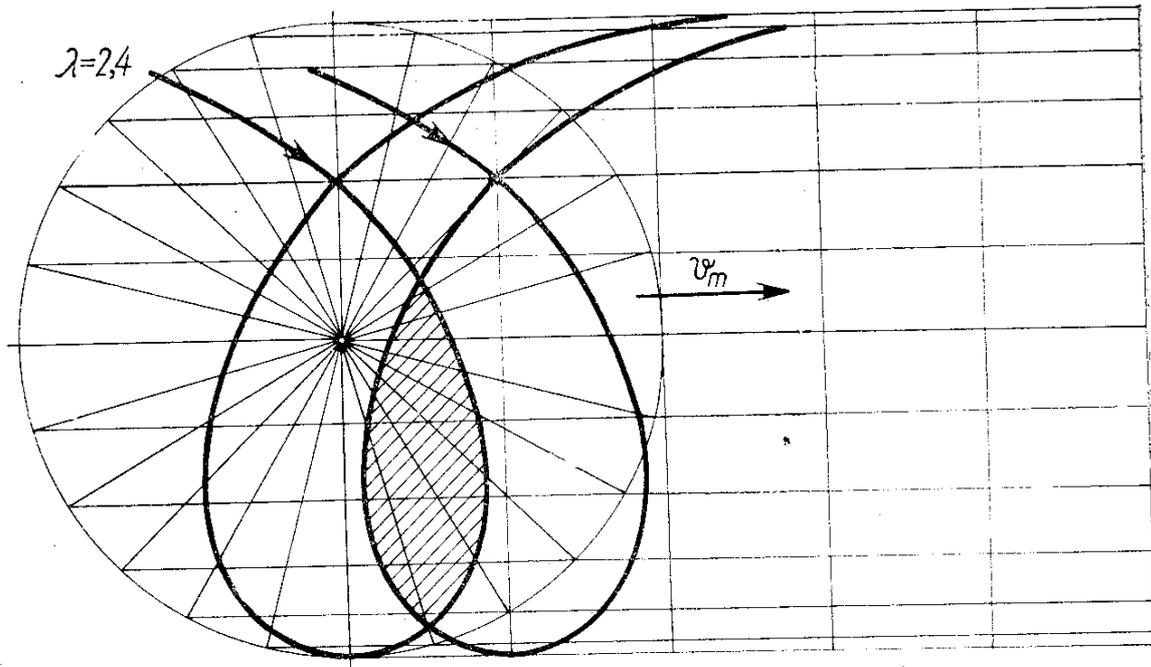


Figure 6 : Action du rabatteur sur du blé dense [28].

R : 600 mm, Z : 05, n : 48 tr/mn.

Les problèmes traités ci-dessus concernent l'action du rabatteur dans une culture droite et dense ; pour une position de l'arbre du rabatteur appropriée et une vitesse de rotation adéquate, la relation entre le rabatteur et l'organe de coupe est satisfaite. Des problèmes se posent quand la culture est versée et que la machine se déplace dans le sens d'inclinaison des plantes (Fig.7), les lattes du rabatteur ne peuvent éviter la chute de certains épis devant l'organe de coupe, de ce fait, l'enfoncement des lattes dans le blé n'est pas possible, leur pression exprimée par la force verticale  $P_y$  pousse le blé vers le bas. Une partie seulement des épis étant en surface (au dessus du point A) est soulevée. Lorsque la machine se déplace dans

le sens opposé de l'inclinaison des tiges, le rabattement du blé vers l'organe de coupe est possible.

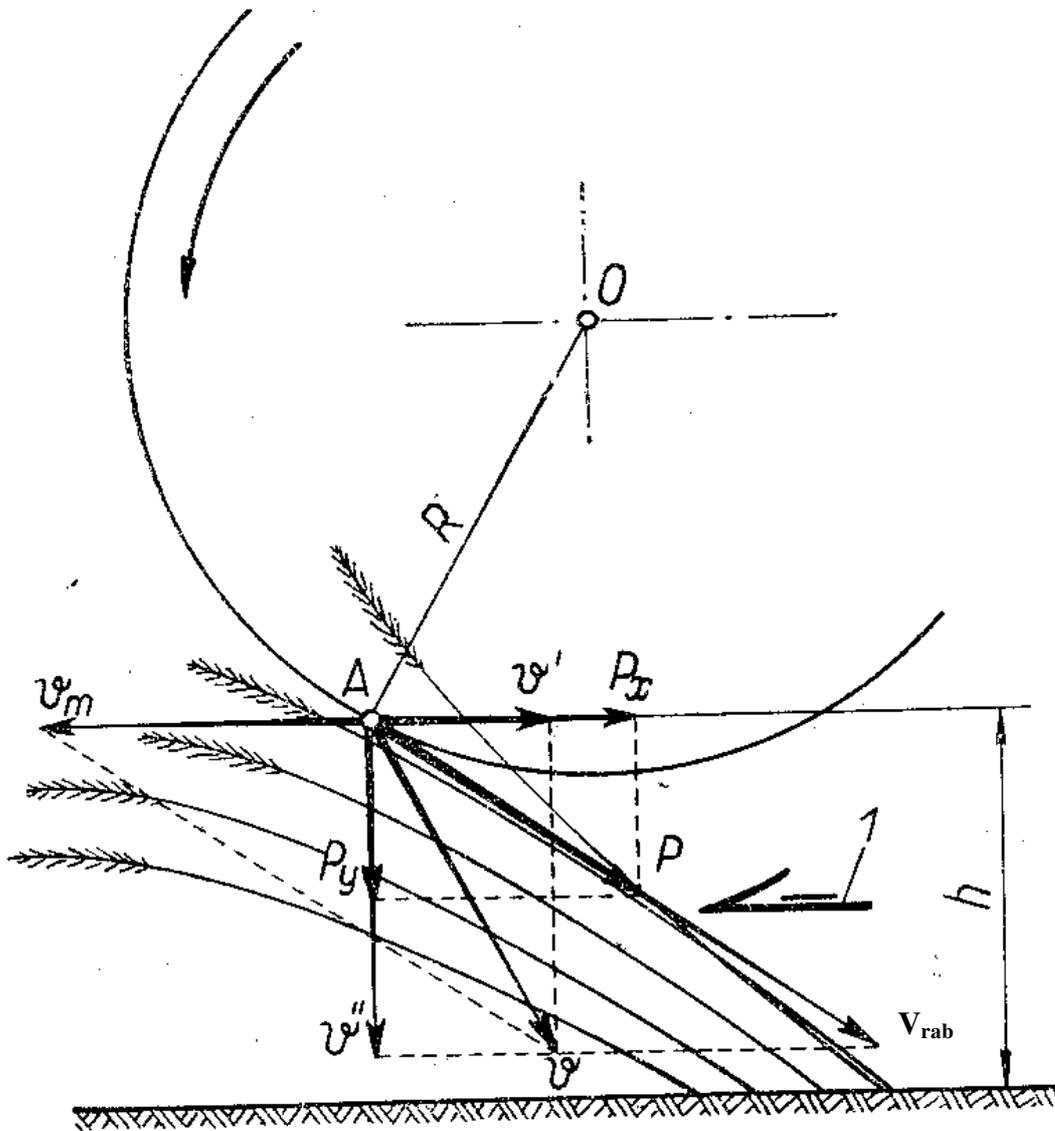


Figure 7 : Action des lattes sur du blé versé [28].

1 : Organe de coupe,  $v$  : Vitesse au point de contact A,  $v_m$  : Vitesse d'avancement,  $v_{rab}$  : Vitesse du rabatteur,  $h$  : Hauteur de coupe.

Pour que le blé versé soit récolté sans qu'il y ait de pertes importantes, il faudrait qu'il soit d'abord soulevé puis incliné vers l'organe de coupe. Cette tâche peut être accomplie par des lattes possédant des doigts réglables qui pénètrent dans le sens de l'inclinaison des tiges.

La figure 8 représente schématiquement le rabatteur avec des doigts à ressorts, réglables ; le mécanisme de réglage utilisé est représenté par des bras rigides liés à un excentrique tournant autour de l'axe  $O_1$ , il en résulte une liaison quadrilatérale  $OO_1 2' 5'$ . Si on suppose dans cette relation l'élément  $OO_1$  comme base pour la rotation de l'élément  $O_1, 5'$  et  $O, 2'$ , ( $2' 5'$  étant parallèle à la base  $OO_1$ ) les doigts sont positionnés sous un angle  $\beta$  constant par rapport à l'élément  $2' 5'$ . La position des doigts ne change pas au cours d'une rotation entière du rabatteur. Lors de la rotation d'un angle  $\alpha$  quelconque, les extrémités 2 et 6 des doigts décrivent un arc de cercle de même rayon  $R$  que les extrémités des bras. Il en résulte que les vitesses périphériques ainsi que les trajectoires de chaque point du doigt sont égales aux vitesses périphériques et aux trajectoires déterminées par les bras du rabatteur.

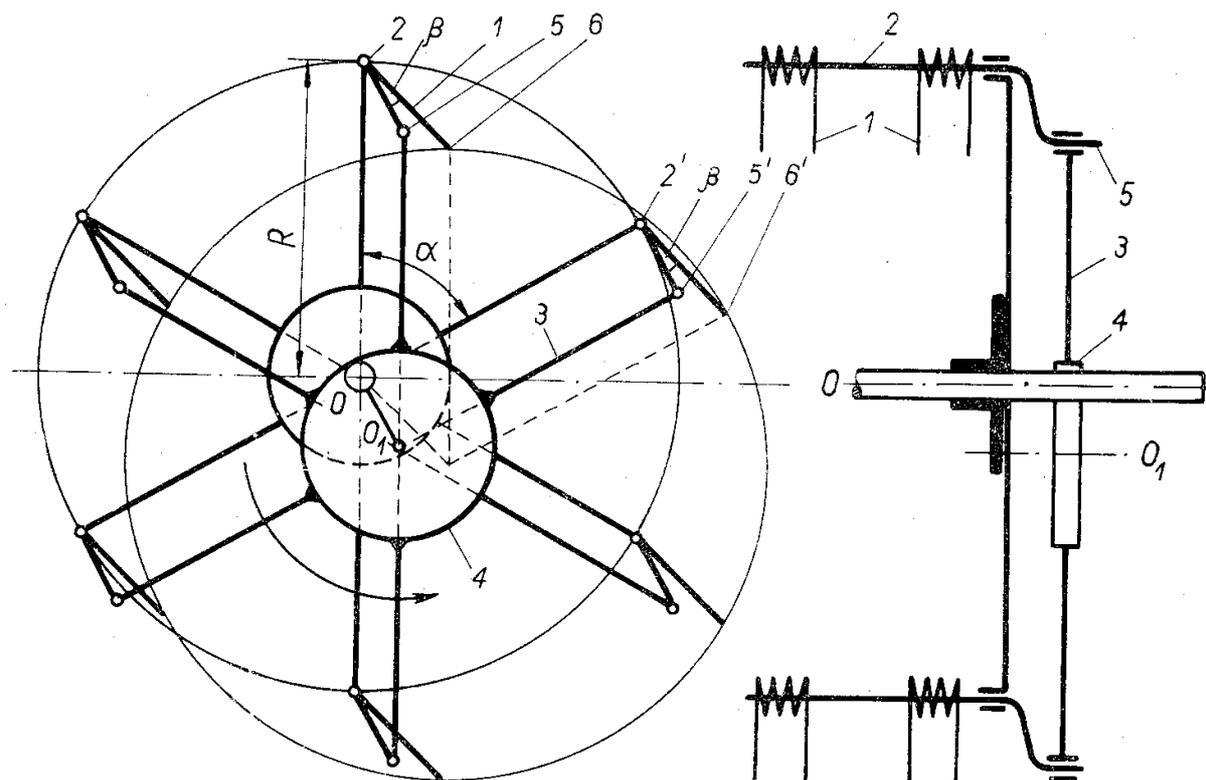


Figure 8 : Réglage des doigts du rabatteur [28].

1 : Doigt, 2 : Latte, 3 : Bras, 4 : Excentrique, 5 : Articulation, 6 : Extrémité du doigt,  $\beta$  : Angle d'inclinaison du doigt.

La figure 9 représente les trajectoires décrites par les extrémités des bras rabatteurs (ligne discontinue) et celles des extrémités des doigts (ligne continue). Le segment AB détermine le trajet de déplacement de l'axe O et la ligne  $A_1B_1$  de l'axe  $O_1$ . Les deux courbes sont identiques mais sont déplacées par la longueur des doigts. Examinons l'action des doigts réglables du rabatteur (Fig. 10), où  $h$  indique la hauteur moyenne du blé couché,  $H$  la hauteur de position de rabatteur,  $V_m$  la vitesse de travail de la machine et  $v_{rab}$  la vitesse périphérique des extrémités des doigts.

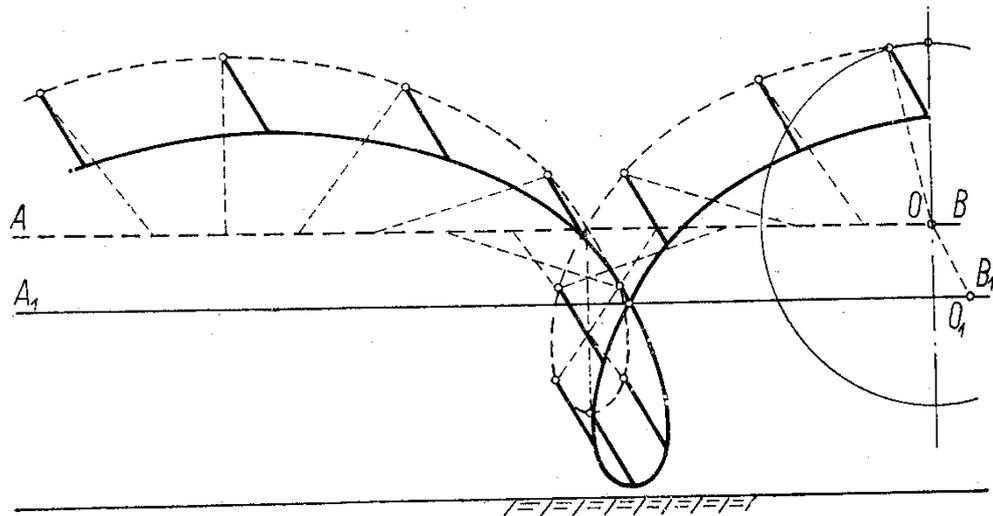


Figure 9 : Trajectoire des doigts [28].

Au point  $A_1$ , point de contact des doigts avec la surface du blé couché, la vitesse résultante  $V_1$  ( $\vec{V}_1 = \vec{V}_m + \vec{V}_{rab}$ ) se répartit en deux composantes :

$V'_1$  : composante horizontale dirigée dans le sens du déplacement de la machine.

$V''_1$  : composante verticale avec laquelle les extrémités des doigts s'enfoncent dans le blé.

Il en résulte que les valeurs de ces composantes dépendent de la hauteur de coupe  $H - h$ , c'est-à-dire de la hauteur de position de l'axe du rabatteur alors que ce dernier continue toujours à tourner dans le même sens.

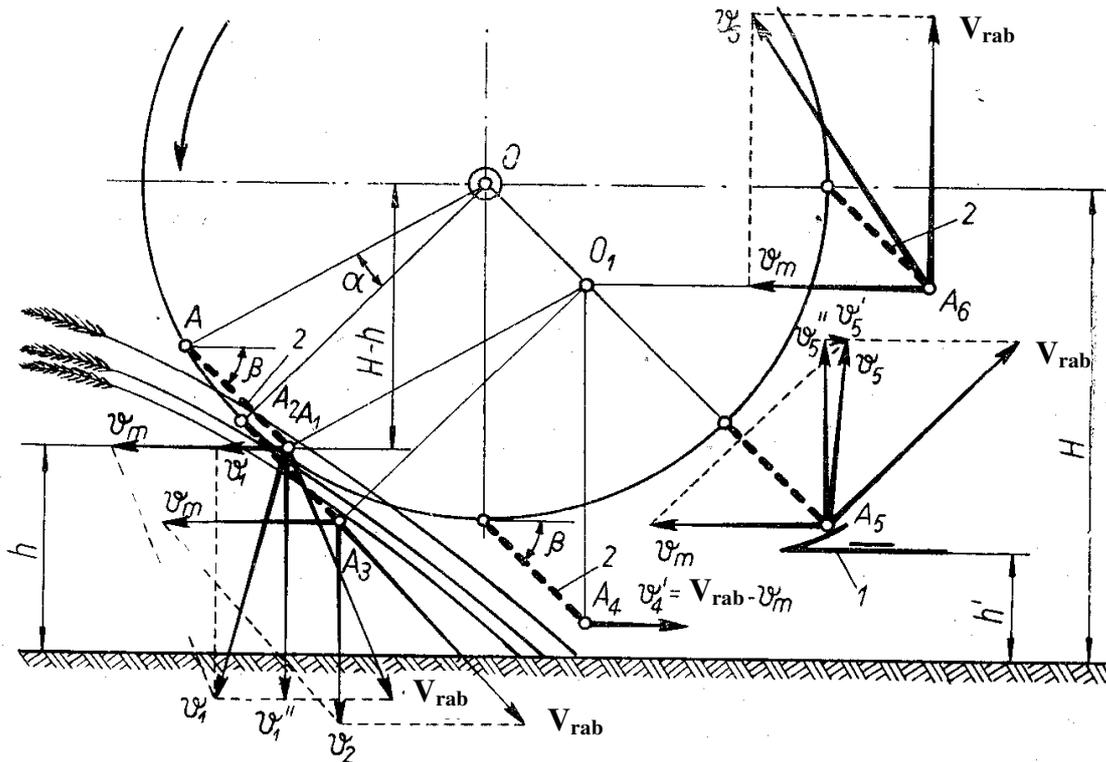


Figure 10 : Action des doigts du rabatteur sur le blé (rabattement dans le sens inverse) [28].

La composante horizontale  $V_m$  diminue et la composante verticale  $V_{rab}$  augmente pour une position extrême  $A_4$  où :

$$V'_4 = V_{rab} - V_m$$

De la position  $A_3$  où  $V^3 = 0$  à la position  $A_4$ , la composante horizontale de la vitesse des doigts est orientée vers la machine, sur ce parcours, les doigts s'enfoncent dans le blé et le soulèvent.

La rotation continue au point  $A_5$ , la résultante  $V_5$  est orientée vers le haut, la composante  $V''_5$  détermine la vitesse de soulèvement des tiges et la composante  $V'_5$  représente la vitesse avec laquelle les tiges s'inclinent vers la table de coupe. Au point  $A_6$ , la résultante  $V_6$  est plus au moins orientée vers le sens des doigts ce qui facilite leur sortie de la matière sans risque de soulèvement.

Les paramètres de réglage des doigts changent en fonction du rabattement du blé par rapport au déplacement de la machine, c'est pour cette raison que pour des conditions données de culture, il faut positionner l'arbre du rabatteur, l'inclinaison des doigts et le choix d'une vitesse de rotation appropriée. Il est aussi préférable de positionner l'organe de coupe le plus bas possible.

Selon [30] les pertes en grains à l'avant de la machine sont légèrement influencées par la vitesse d'avancement de la machine mais dépendent en grande partie aussi et surtout de l'état de la culture, des paramètres de réglage des organes de coupe, de la position du rabatteur, de sa vitesse de rotation et de la hauteur de coupe.

### 1.2.2. Influence du coefficient cinématique ( $\lambda$ ) sur les pertes en grain

Les pertes en grain au niveau de la table de coupe se produisent principalement quand la vitesse périphérique des lattes du rabatteur ( $V_{rab}$ ) est trop grande par rapport à la vitesse d'avancement de la machine ( $V_a$ ), la vitesse de rotation du rabatteur devrait être légèrement supérieure à celle de l'avancement pour que les tiges coupées soient inclinées vers la table de coupe et le coefficient cinématique  $\lambda = \frac{V_{rab}}{V_a}$  devrait varier entre 1 et 1,4.

Les trajectoires des lattes forment des boucles à leur base. Dans le cas où la culture est très dense et versée cette vitesse doit être augmentée et les boucles seront plus grandes.

La hauteur du rabatteur doit être établie de manière que la vitesse périphérique des lattes soit tangentielle au point de contact des tiges.

La disposition constructive des organes de la table de coupe influe grandement sur les pertes en grain et les performances de la machine.

En conclusion des travaux menés par [13] sur l'orge et le blé avec la moissonneuse-batteuse « SABA » de fabrication locale ENPMA de Sidi Bel Abbas, on peut dire que :

- La vitesse périphérique du rabatteur influe sur les pertes en grain de blé ; ces pertes sont proportionnelles à la vitesse de rotation du rabatteur mais restent dans les limites admissibles (1%) avec une vitesse de rotation optimale du rabatteur (20 à 25 tr/mn) et une vitesse d'avancement constante de la machine (0,86 m/s) ainsi, il en ressort un coefficient cinématique  $\lambda$  variant entre 1,28 et 1,60.
- Sur une culture d'orge en mauvais état et très versée la vitesse de rotation du rabatteur est montrée jusqu'à 45tr / mn ( $\lambda = 2,88$ ) pour une vitesse d'avancement de 0,86 m/s dans le but de limiter les pertes à 1%. Ceci est conforme à la théorie car dans le cas d'une récolte versée, la vitesse des lattes doit être élevée pour induire une énergie suffisante pour soulever les épis.
- La hauteur de position du rabatteur par rapport à la barre de coupe influe sur les pertes de manière inversement proportionnelle c'est-à-dire les pertes augmentent quand on

diminue la hauteur du rabatteur ; ceci est conforme à la théorie. L'abaissement de l'axe du rabatteur favorise le contact des lattes avec les épis et provoque plus de pertes. Les hauteurs qui limitent les pertes devraient être choisies de telle façon que les lattes du rabatteur touchent les tiges au 2/3 de leur hauteur.

- Les pertes au tablier de coupe diminuent considérablement avec la vitesse d'avancement de la machine. Pour limiter les pertes à 1%, il a fallu travailler avec des vitesses de 0,58 m/s (2,08 Km/h) pour le blé tendre et de 1,3 m/s (4,68 Km/h) pour l'orge avec des capacités de récolte respectivement de 1,91 Kg/s et de 2,42 Kg/s.

## 2. Les Pertes au batteur

### 2.1. Processus de battage tangentiel

Selon [33] le détachement des grains des épis peut être obtenu par choc des battes du batteur sur les épis et par leur froissement. La paille est soumise à des déformations qui absorbent inutilement plus d'énergie que celle utilisée pour la séparation des grains.

Autrement dit, pendant le battage mécanique, le coefficient d'utilisation de la puissance diminue quand le rapport massique grain / paille diminue c'est-à-dire quand la paille est plus longue.

Selon [44] le processus de battage est constitué par trois phénomènes physiques essentiels qui sont :

- Le détachement des grains de l'épi par choc et par froissement ;
- Le passage des grains à travers la paille ;
- Le passage des grains par les alvéoles du contre-batteur.

Généralement, on obtient une séparation de 90% des grains aux organes de battage, les 10% de grains restant passent avec la paille sur les secoueurs.

La figure 11 présente deux exemples schématiques d'organes de battages typiques utilisés couramment dans les moissonneuses-batteuses :

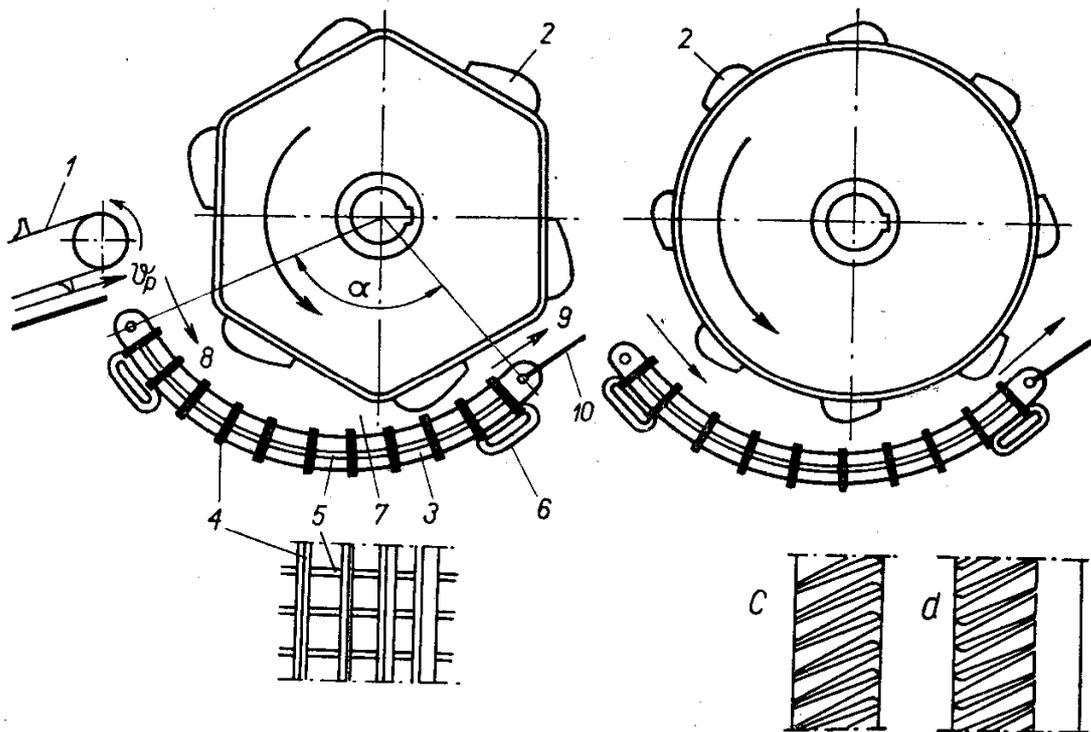


Figure 11 : Organes de battage [28].

1 : Convoyeur à barrettes, 2 : Battes, 3 : Ecartement de battage, 4 : Barres du contre batteur, 5 : Tiges recourbées, 6 : Fixation du contre batteur, 7 : Cadre du contre batteur, 8 : Ecartement à l'entrée, 9 : Ecartement à la sortie, 10 : Plaque de fixation.

La matière à battre arrive par un transporteur vers l'écartement de battage formé par le batteur équipé de battes tournant à grande vitesse et du contre-batteur.

Dans la bande de la matière se créent des vibrations forcées dans le sens radial du batteur qui améliorent la séparation des grains à partir des épis, la fréquence de vibration dépend du nombre de battes et de la vitesse de rotation du batteur.

Dans l'écartement de battage les amplitudes de vibrations diminuent alors que la vitesse de la couche de matière augmente ; la fréquence des chocs des battes peut être exprimée par la relation suivante :

$$I = \frac{\pi.n.R.Z}{30}$$

I: fréquence des chocs ;

R : rayon du batteur.

n : vitesse de rotation du batteur ;

Z : nombre de lattes.

## 2.2. Énergétique du mécanisme de battage

La puissance développée par le moteur de la moissonneuse-batteuse est utilisée pour le déplacement et pour animer les organes travaillants. La répartition se fait comme suit, selon le bilan de puissance de SHANKEY considéré égal à 100% [28] :

Déplacement de la machine	Organes de battage	Secoueur, nettoyeur, ventilateur	Tablier de coupe	Pompe hydraulique
32%	40%	15%	9%	4%

Le batteur fonctionne comme un ventilateur, il rejette de l'air en tournant et consomme de l'énergie. Les chocs successifs des battes sur la paille assurent le battage et facilitent l'avancement de la paille.

La puissance totale P nécessaire pour faire tourner le batteur est :

$$P = P_v + P_p$$

$P_v$  : Puissance nécessaire pour assurer la rotation du batteur à vide :

$P_p$  : Puissance nécessaire pour vaincre les résistances dues à la paille.

La puissance  $P_v$  se calcule à l'aide de la formule suivante :

$$P_v = A \omega + B \omega^3$$

$A \omega$  : Résistance due aux frottements de l'axe du batteur sur les paliers ;

$B \omega^3$  : Résistance due à l'air ;

$\omega$  : Vitesse angulaire ;

$A = 0,4.10^{-3}$  (coefficient empirique) ;

$B = 0,91 \cdot 10^{-6}$  (coefficient empirique).

$$B\omega^3 = \frac{\gamma_{air} \cdot S \cdot i \cdot \varepsilon^2 \cdot V_c^2}{2g}$$

$\gamma$  : Densité de l'air ( $\text{Kg/m}^3$ ) ;

$S$  : Surface des lattes ( $\text{m}^2$ ) ;

$i$  : Nombre de battes ;

$\varepsilon = 0,55$  (coefficient) ;

$V_c$  : Vitesse de l'air ( $\text{m/s}$ ).

La vitesse de l'air et la vitesse périphérique du batteur sont liées par la relation  $V_p = \varepsilon V_c$ .

La Puissance  $P_p$  utilisée pour tirer la paille se compose de :

$P_1$  : Puissance qui donne une accélération à la paille :

$$P_1 = m' V_p$$

$P_2$  : Puissance nécessaire pour extraire la masse de grain tenant compte du frottement de la paille.

$$P_2 = f P_p$$

$$P_p = P_1 + P_2 = m' V_p + f P_p$$

$$\text{ou bien } P_p = \frac{m' V_p}{1 - f}$$

$m'$  = Capacité de la machine ( $\text{kg/s}$ );

$V_p$  = Vitesse périphérique du batteur ( $\text{m/s}$ )

$f$  : 0,65 - 0,75 coefficient de frottement de la paille.

### 2.3. Cinématique et dynamique du processus de battage

La cinématique étudie le mouvement du batteur dans son rapport avec le temps, les grandeurs cinématiques sont la vitesse et l'accélération. La dynamique étudie les causes induisant ce mouvement, c'est-à-dire les forces.

#### 2.3.1. Cinématique

Les résultats des travaux de [15] concernant le processus de battage sont montrés dans la figure 12. Des valeurs de vitesses des grains, des enveloppes, de la paille et des épis sont enregistrées à différents niveaux du batteur.

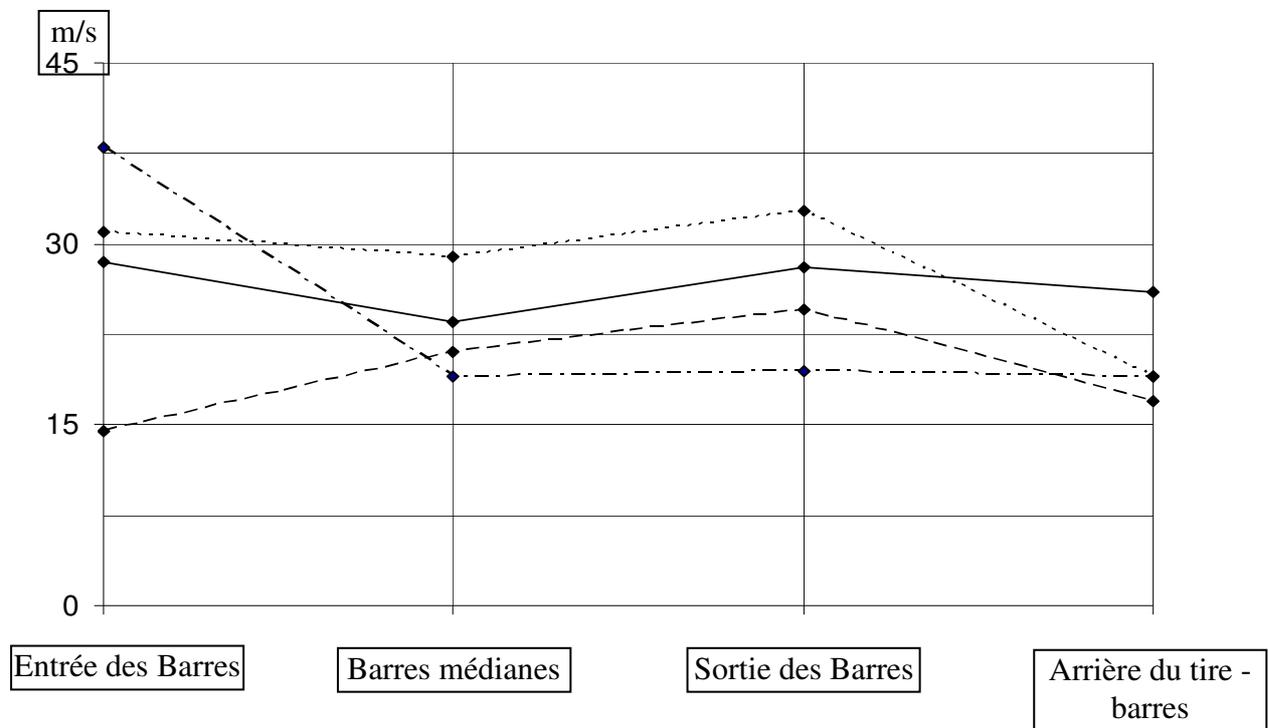


Figure 12 : Vitesses absolues maximales [15].

Les vitesses maximales représentées dans la figure 12, mis à part le comportement anormal des épis qui, à l'entrée du contre batteur ont atteint une vitesse de 37 m/s approximativement, ont une allure à peu près identique avec un maximum à la sortie du contre batteur où l'espace

de battage est réduit. La réduction du poids spécifique des épis au fur et à mesure du battage confère à la courbe des épis une allure différente des autres. La relation entre la vitesse périphérique et la vitesse de rotation du batteur est la suivante :

$$V = R \omega \quad (\text{m/s})$$

V : Vitesse périphérique du batteur (m/s)

R : Rayon du batteur (m)

$\omega$  : Vitesse angulaire (rd/s)

Durant les essais effectués, la vitesse périphérique des battes a été maintenue constante et égale à 25 m/s, cette vitesse est suffisante pour la séparation de la majorité des grains ; l'analyse des menues pailles à la sortie du batteur a montré la présence de moins de 1% de grain par rapport à la quantité de grain au départ.

### 2.3.2. Dynamique

Les forces appliquées correspondant à ces vitesses sont approximativement égales à 18 gf, 36gf, et 54 gf. Selon [49] les grains sont confrontés à des forces impulsives dues à des vitesses élevées du batteur. En diminuant l'écartement de battage, on peut avoir :

- Une augmentation du nombre de coups aux grains de la part des battes.
- Une augmentation de chocs aux épis avant que ceux-ci ne passent dans la zone de battage.

Il est donc possible de décrire les paramètres ci-dessus comme étant une progression de chocs. Cette progression se traduit par une augmentation dans la séparation et la casse de grains.

Les mêmes auteurs cités ci-dessus disent que la relation entre la vitesse périphérique du batteur et la quantité de grains cassés est une progression des chocs. L'élaboration de cette progression est comme suit :

$$mV + (F.t) = m.v$$

où  $F.t = m(v - V)$

F : Force d'impulsion ou choc ;

t : Durée du choc ;

m : Masse de l'épi ;

V : Vitesse de l'épi avant le choc ;

v : Vitesse de l'épi après le choc ;

Les vitesses  $v$  et  $V$  sont sensiblement égales, donc on peut écrire :

$$F = \frac{m \cdot v}{t}$$

Si la vitesse du batteur est doublée, et le temps «  $t$  » est réduit de moitié, on aurait :

$$F' = \frac{m(2v)}{t/2}$$

C'est à dire :

$$F' = \frac{4mv}{t}$$

et donc :

$$F' = 4.F$$

Des travaux expérimentaux des mêmes auteurs ont donné les résultats suivants : à 700 tr/mn la casse obtenue est de 0,8% alors qu'à 1100 tr/mn la casse est de 1,8% soit 2,3 fois plus.

Selon [9-17] une force de 36 gf peut provoquer la séparation de la majorité des grains, [25] précise qu'un grain de 0,044 g développe une force d'inertie de quelques 16,56 gf, cette valeur est supérieure à celle nécessaire pour séparer le grain de l'épi dont la moyenne est de 9,2 à 11,96 gf.

## **2.4. Facteurs influençant l'efficacité de battage**

### **2.4.1. Paramètres de la récolte**

#### **2.4.1.1. Influence de l'humidité**

De nombreux chercheurs observent que l'humidité du grain est le paramètre le plus important à prendre en considération et affirment qu'à des humidités élevées le grain est susceptible aux déformations causées par les charges du batteur. [46] et [47] ont constaté qu'à des humidités élevées la force critique nécessaire à la casse du grain est faible. Pour une humidité supérieure à 20% et particulièrement à 25%, la résistance du grain ainsi que son module d'élasticité diminue devant la force de batteur alors que sa déformation augmente. [48] ont observé une diminution brusque de la vitalité du grain de blé de printemps à un niveau d'humidité de 22%. De même qu'à des faibles humidités, les charges du batteur peuvent causer des casses significatives à la structure externe du grain ; ils ont mis en évidence que la casse augmente avec la siccité des grains de blé et d'orge.

Le niveau d'humidité de 18 à 20% a été étudié par [45] cité par [23] ; ils ont signalé qu'à 18% d'humidité il y a augmentation de la résistance au cisaillement du grain et pour une humidité de 20% les grains deviennent doux et donc moins susceptibles à la casse. [21] expliquent ce phénomène par une transformation d'un état élasto-fragile (15 à 18%) à un état élasto-plastique (18 à 20%).

#### **2.4.1.2. Influence de la variété**

Concernant l'aspect variétal aucune conclusion ne peut être tirée quant à son influence sur la casse des grains, tellement les différents travaux se rapportant à ce sujet sont contradictoires. [21] avancent que la résistance à la casse des grains est fonction surtout du processus que subit le grain en affirmant que l'augmentation de la quantité de protéines dans le blé de printemps induit une augmentation de la résistance à la casse mécanique tandis que les grains de blé d'hiver ont montré une diminution de la résistance à la casse malgré l'augmentation du taux de protéine.

### 2.4.1.3. Propriétés mécaniques du grain

Les propriétés mécaniques du grain déterminent son comportement sous l'effet des charges externes causées par les parties travaillantes de la machine.

L'étude des caractéristiques mécaniques telles que l'élasticité et la plasticité du grain est très compliquée vu l'hétérogénéité de la structure externe et interne du grain et sa nature anisotropique.

[46] ont déterminé que le grain se comporte sous charge comme un corps plastique-élastique. Lors de ses expériences, il a observé que lors de la compression d'un grain entre deux plaques, il apparaît trois points caractéristiques :

- Le point de la limite d'élasticité ;
- Le point critique ;
- Le point de rupture.

Le point de rupture apparaît juste après le point critique (Fig.13), le point critique correspond aux microcasses, le point de rupture aux macrocasses.

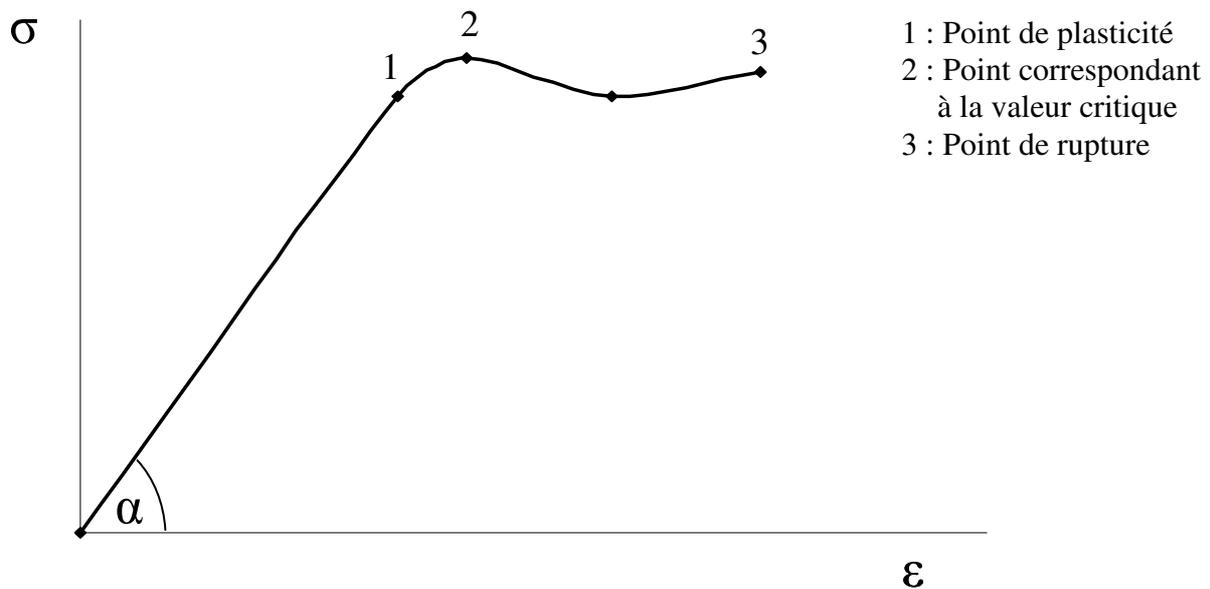


Figure 13 : Contrainte  $\sigma$  en fonction de la déformation relative du matériel biologique [46].

La connaissance de ces propriétés mécaniques est indispensable pour mieux comprendre le comportement du grain vis-à-vis des forces provoquant la casse.

## 2.4.2. Les paramètres constructifs de la machine

### 2.4.2.1. Influence de la vitesse d'avancement de la machine

La vitesse d'avancement de la machine influe directement sur l'alimentation et donc sur la capacité d'alimentation de la machine [28]. La relation exprimant la capacité de la machine est :

$$q = b \cdot V_a \cdot q (1 + s)$$

q : Capacité de récolte de moissonneuse (Kg/s)

b : Largeur de travail réelle de la moissonneuse-batteuse (m) ;

V<sub>a</sub> : Vitesse d'avancement de la machine (m/s) ;

q : Rendement moyen de la culture (Kg/m<sup>2</sup>) ;

s : Rapport massique paille /grain ;

Comme l'indiquent [49] l'augmentation du taux d'alimentation diminue la casse des grains ce qui s'explique par l'effet coussin formé par la couche de paille qui amortit le choc des battes (Fig. 14).

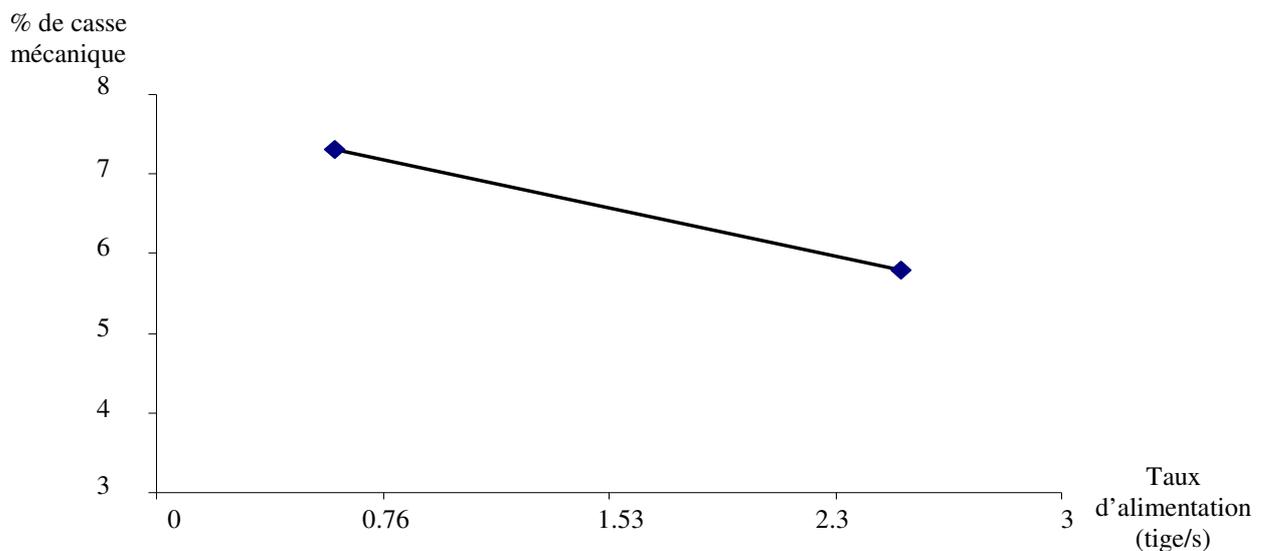


Figure 14 : Influence du taux d'alimentation sur la casse mécanique du grain [49].

Selon [7] une faible alimentation provoque une importante casse de grains. La casse de grains de céréales diminue au fur et à mesure que s'épaissit le volume d'alimentation (paille + grains) (Fig.15), mais augmente quand la vitesse du batteur s'accroît (Fig.16).

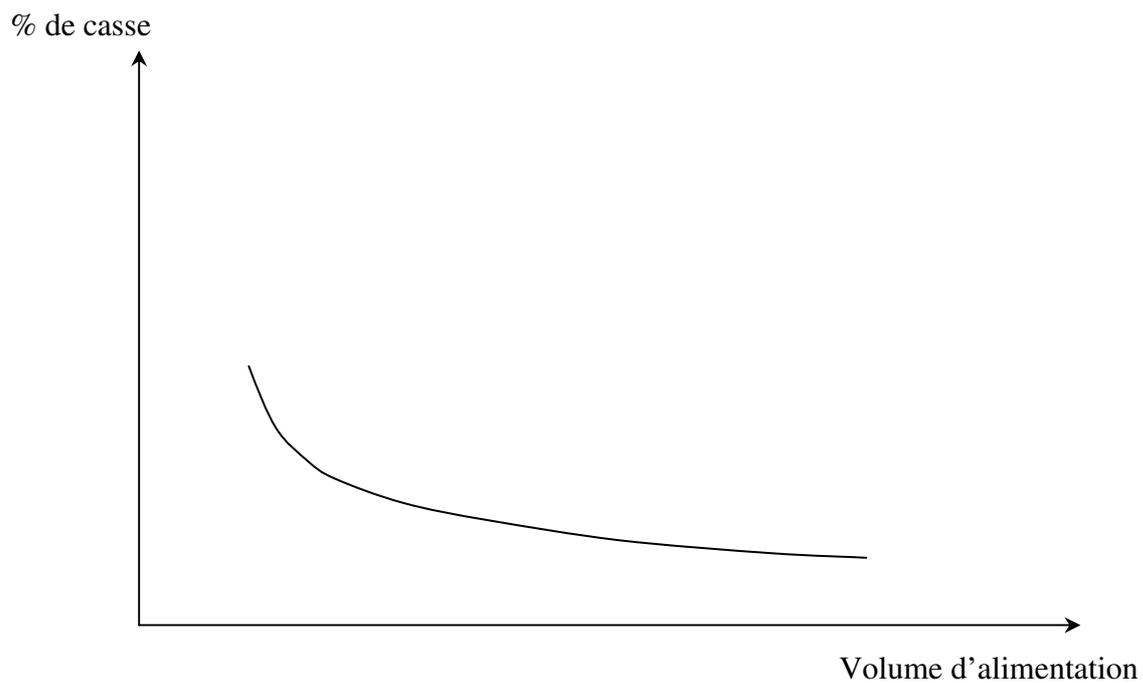


Figure 15 : Casse en fonction du volume d'alimentation [7]

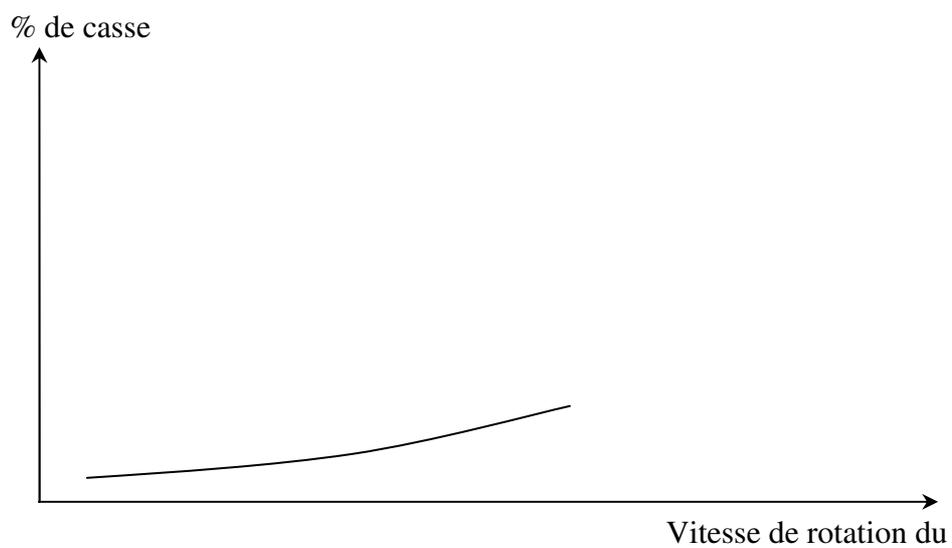


Figure 16 : Casse en fonction de la vitesse de rotation du batteur [7]

### 2.4.2.2. Influence de la vitesse du batteur

Tous les auteurs ayant travaillé sur la casse du grain, s'accordent pour dire que la vitesse de rotation du batteur est le facteur qui influe le plus sur la casse du grain.

Selon [15] 75% des grains mûrs cassent s'ils sont soumis à une vitesse supérieure à 36 m/s = 1530 tr / mn.

[36] observent que la casse augmente de manière significative à partir de 20,90 m/s (887 tr/mn), pour la variété Capelle Desprez et à partir de 30m/s (1270 tr/mn) pour Koya II.

Les recommandations à retenir sont :

[7] propose une vitesse de 17,50 m/s (740 tr/mn) quand le grain est à une humidité de 15% pour la variété Capelle Desprez.

Selon [49], pour un battage optimal la vitesse du batteur ne devrait pas dépasser 21,60 m/s (918 tr/mn).

En résumé, les vitesses optimales à retenir se situent entre 17,5 m/s (740 tr/mn) et 28 m/s (1200 tr/mn).

### 2.4.2.3. Influence de l'ouverture de battage

Pour [28], la casse de grain augmente si l'écartement batteur / contre batteur est très étroit.

[17] confirme cette idée et avance qu'en présence d'une fente étroite la casse devient importante, si en plus la vitesse de rotation du batteur augmente.

Les recommandations des constructeurs, d'après [49], sont de ¾ in (19 mm) à l'avant et de 1/8 in (3mm) à l'arrière pour une vitesse de 26 m/s = 1100 tr/mn.

[11] conseille des ouvertures de 8 à 15 mm avec une moyenne de 6 mm à l'arrière.

Il est difficile de conclure sur le meilleur écartement causant le moins de casse car les conditions de récolte (humidité du grain, présentation de la récolte...) jouent un rôle important.

On peut dire que les vitesses importantes du batteur combinées à de faibles ouvertures du contre-batteur ont pour conséquence une augmentation du battage et celle de la casse des grains.

#### **2.4.2.4. Influence du diamètre du batteur**

[28] signale qu'à l'entrée des organes du battage, les épis sont battus plus intensivement (donc plus de casse) avec un batteur de petit diamètre (250 mm) qu'avec un batteur de grand diamètre (800 à 1200 mm) et ce pour une même vitesse de rotation.

#### **2.4.2.5. Influence de la longueur du batteur**

Quand le batteur est plus long, le temps que met le blé pour passer est plus important et ceci provoque plus de casse.

Si la longueur du batteur est augmentée de 17 mm par exemple, il faut diminuer la vitesse du batteur de 5 m/s, dans ce cas la casse diminue car la vitesse est moins rapide [7].

Toujours selon [7] il est plus avantageux d'utiliser des batteurs courts qui minimisent la casse de grains sans diminuer l'efficacité de battage.

### **3. Les Pertes à l'arrière de la machine**

#### **3. 1. Les Pertes aux secoueurs**

Les 10 à 20% de grains restant dans le flux de paille doivent être récupérés au niveau des secoueurs. [49] ont mis en évidence l'importance de briser la vitesse de la paille sortant du batteur avec des déflecteurs, il a remarqué que sans les déflecteurs la séparation commence à l'arrière des secoueurs là où la vitesse devient faible. Ils concluent que l'efficacité au niveau des secoueurs est étroitement liée à la fréquence et à l'amplitude du mouvement alternatif des secoueurs et que les pertes sont liées à la capacité d'alimentation.

Pour de faibles capacités d'alimentation 1,1 à 1,3 Kg/s les pertes varient entre 0,3 et 0,7 %, pour des capacités plus élevées 2 à 3 Kg/s les pertes vont jusqu'à 9%.

#### **3.2. Les Pertes aux grilles de nettoyage**

[43] notent qu'une vitesse de battage élevée influe négativement sur le travail des grilles de nettoyage par la formation d'un véritable « matelas » de paille qui colmate les alvéoles des grilles, ce qui favorise les pertes à l'arrière de la machine. L'humidité ainsi que le type de paille et le débit d'alimentation ont un effort sur les pertes au niveau des grilles de nettoyage. Les réglages des grilles et le débit d'air du ventilateur sont ainsi à prendre en considération.

Les Pertes aux grilles de nettoyage peuvent aller jusqu'à 2% pour des capacités de 3 Kg/s.

[8] insiste sur les réglages du ventilateur. Un débit d'air élevé évacue les grains de céréales vers l'extérieur, un débit d'air faible n'arrive pas à dégager les déchets qui empêchent le passage des grains à travers les grilles. Il recommande de diriger le flux d'air de manière à le répartir uniformément sur les grilles avec une légère domination sur la partie avant des grilles.

## **CHAPITRE II : TENDANCES ACTUELLES DANS LA CONSTRUCTION DES MOISSONNEUSES-BATTEUSES.**

### **Introduction**

Ces dernières années, les évolutions dans les principes de battage, de nettoyage et de séparation ont permis d'améliorer les performances des moissonneuses-batteuses. Ainsi, le remplacement des secoueurs sur les machines traditionnelles par des cylindres de séparation a permis d'accroître les débits sans pour autant augmenter le gabarit des machines qui peut vite devenir un facteur limitant pour le déplacement routier. De la même manière, des améliorations apportées aux systèmes de nettoyage (table de préparation à double chute, ventilateur type Turbine...) ont permis d'augmenter le débit et l'efficacité de ces machines. Par ailleurs, certaines innovations, autrefois réservées aux moissonneuses batteuses de haute gamme, sont aujourd'hui disponibles sur tous les modèles, citons par exemple le réglage de la hauteur de coupe qui est aujourd'hui le plus souvent automatique, l'adoption du battage axial...

Les moissonneuses-batteuses connaissent aussi bien une évolution significative avec l'adoption progressive des capteurs et des équipements de localisation par satellite.

Nous développerons et préciserons dans ce chapitre, les évolutions notables dans les principaux organes de la machine à savoir: le tablier de coupe, les organes de battage, les systèmes de secouage et de nettoyage.

### **1. Amélioration et nouveauté technologique au niveau de la machine et du tablier de coupe**

Actuellement nous assistons à une généralisation des systèmes de compensation des devers sur l'ensemble des gammes. Le système exclusif de mise à niveau, commandé par un inclinomètre électronique qui permet de maintenir le corps de la machine parfaitement horizontal sur des pentes de 20% dans le sens transversal et près de 30% dans le sens longitudinal. Deux vérins hydrauliques, commandés par des électrovannes, (Fig.17) font tourner les réducteurs de roues avant vers le haut ou vers le bas afin d'obtenir une mise à niveau horizontale de la machine.

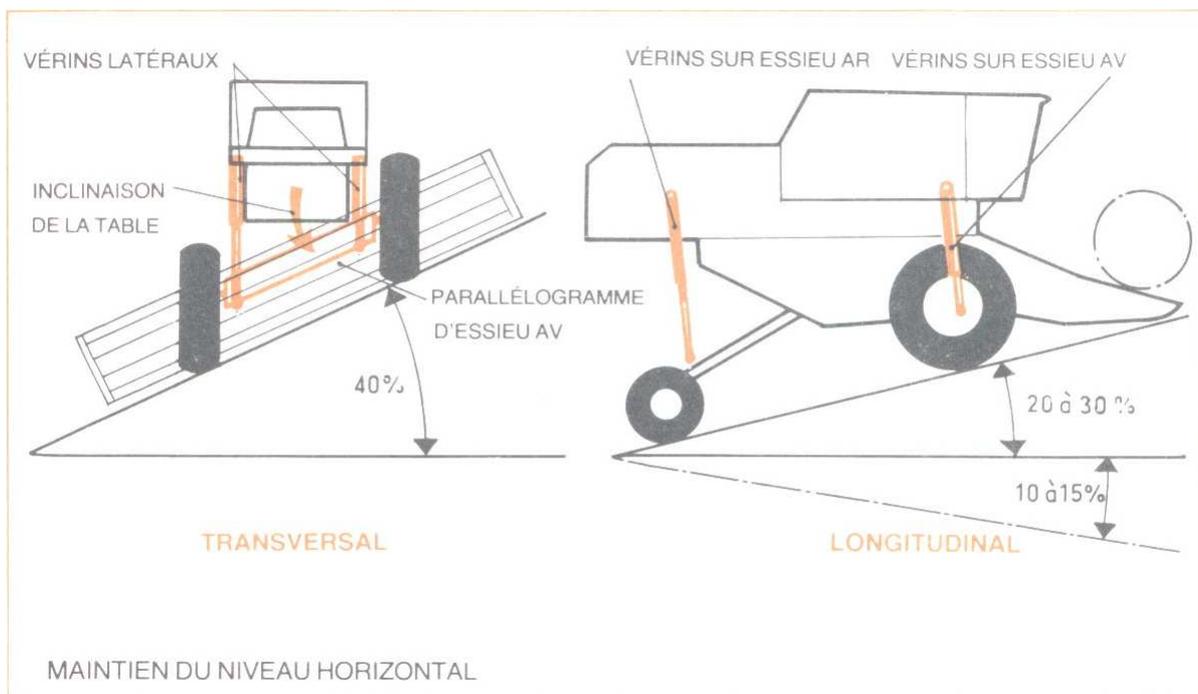


Figure 17: Mise à niveau horizontal de la machine [1].

Le dispositif automatique mis en place permet d'utiliser la mise à niveau, depuis le poste du conducteur, en fonction des exigences. Ainsi, le système peut n'autoriser une mise à niveau que dans le sens transversal en évitant le déplacement longitudinal du corps de la machine ou, si le profil du terrain l'exige, en utilisant aussi la mise à niveau longitudinale. Dans des conditions de pentes importantes ou de terrains particulièrement lourds, la machine dispose, en option, du mode 4x4.

Concernant la plateforme de coupe, on peut abaisser la hauteur de coupe jusqu'à moins de 4 cm du sol pour ramasser des récoltes versées ou très courtes, de plus il est possible de la mémoriser en marche.

Deux paires de capteurs mécaniques, situés chacun sous les deux extrémités de la plateforme de coupe, mesurent en permanence la distance entre le sol et l'équipement de récolte. Bien placés à l'avant de la plateforme, ils permettent une réaction instantanée.

La dimension du tablier de coupe, réglable selon 3 positions de 545 à 715 mm, permet d'optimiser le rendement en fonction des conditions de récolte, qu'il s'agisse de pailles courtes et sèches jusqu'aux récoltes hautes et humides.

Le grand diamètre de la vis d'alimentation, 660 mm, permet d'acheminer 30% de matière en plus par rapport aux anciennes plateformes.





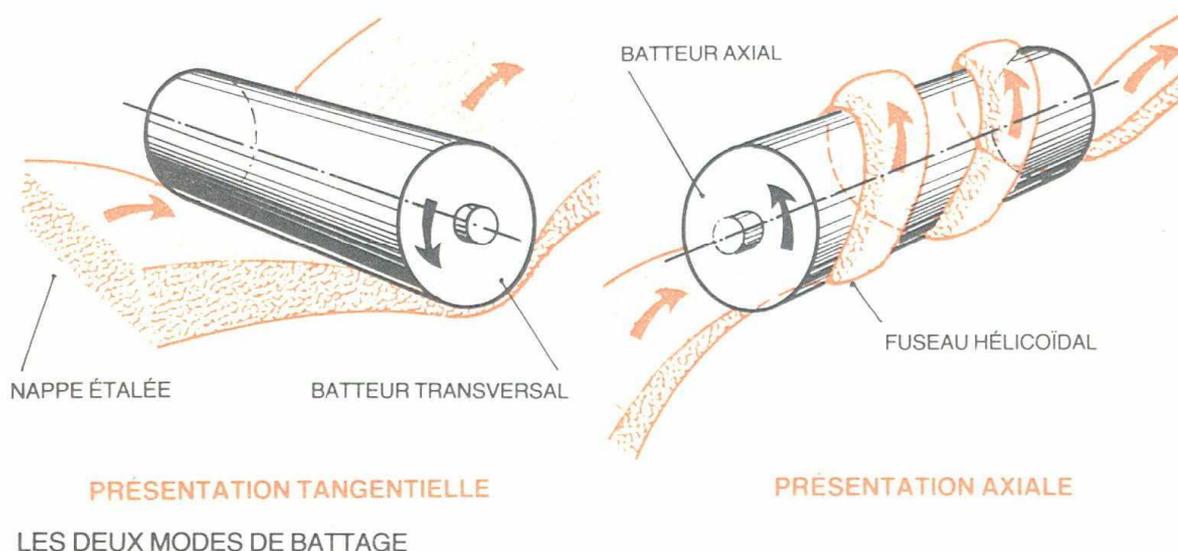


Figure 18: Présentation des deux modes de battage [1].

Dans la réalisation générale, le nouvel ensemble cylindrique de battage et de séparation est constitué par (Fig.19):

-Un rotor intérieur axial comprenant :

- A l'avant : un engrenneur à pales hélicoïdales d'aspiration ;
- Dans la première moitié de sa longueur : des battes hélicoïdales ou longitudinales à arêtes ou striées ;
- Dans la seconde moitié de sa longueur : des lames longitudinales ou hélicoïdales lisses de séparation.

-Un cylindre extérieur obturé dans sa moitié supérieur est garni de lames hélicoïdales à l'intérieur, et grillagé dans sa moitié inférieure comprenant successivement :

- Les grilles amovibles à petites ouvertures du contre-batteur ;
- Les grilles fixes à plus larges ouvertures de séparation du grain dans la paille.

Cet ensemble atteint sa meilleure efficacité lorsque la vitesse périphérique de ses battes et de ses lames est de l'ordre 25 m/s sur blé ou orge.

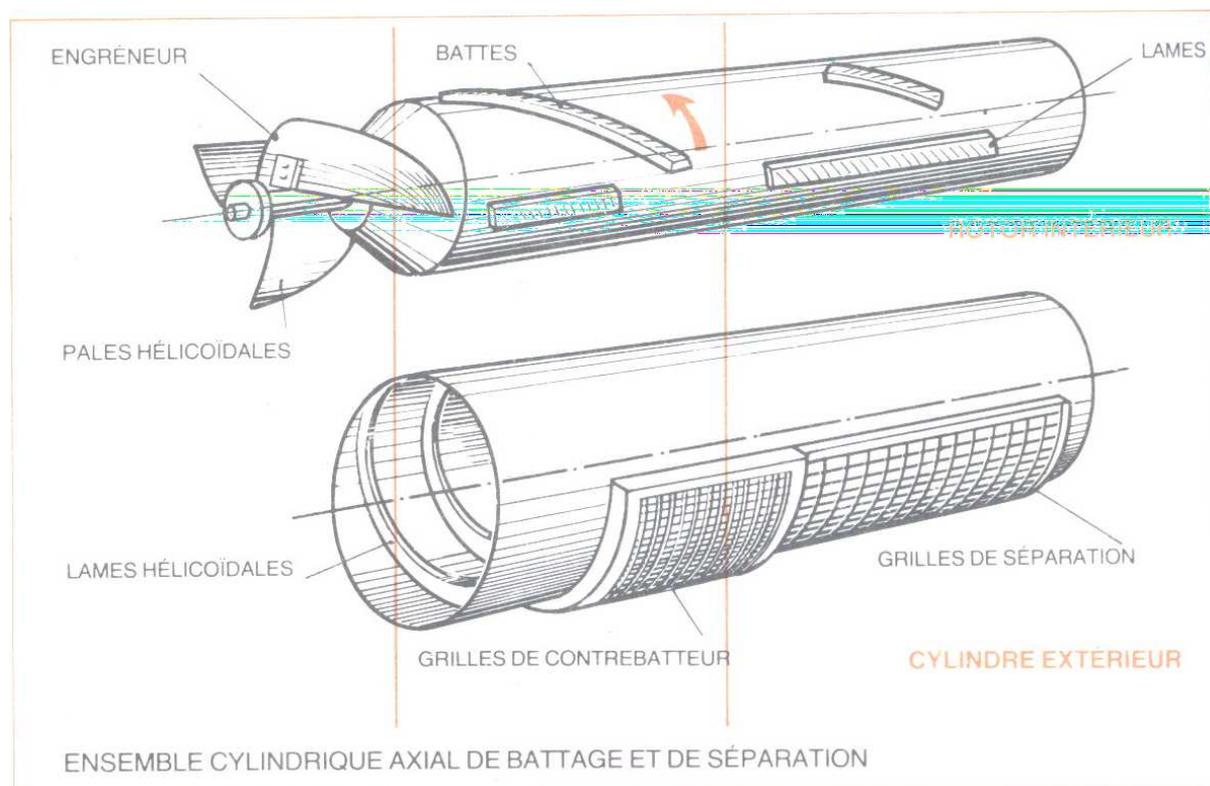


Figure 19 : Ensemble de battage et de séparation [1].

Cette construction conduit à de nombreux avantages immédiats de construction et de fonctionnement, puisque la récolte tourne ainsi plusieurs fois autour du batteur et au contact permanent du contre batteur suivant un cheminement axial continu. Cette nouvelle solution aboutit d'abord à un ensemble mécanique plus simple et à une disposition plus rationnelle avec le rotor axial qui devient pratiquement le seul organe pesant en mouvement de rotation rapide, donc à une machine plus courte et mieux équilibrée et à une réduction sensible des vibrations et du bruit. Elle aboutit aussi à une diminution de la charge interne de récolte puisque la vitesse de transit de cette dernière est de 2 à 3 fois plus rapide et n'est pas retardée par le mouvement alternatif des secoueurs. De ce fait, le battage et la séparation du grain s'effectuent en 4 ou 5 secondes seulement contre 10 à 12 secondes dans les machines classiques, en raison surtout de la moindre épaisseur du matelas de paille en mouvement.

La qualité de travail dépend d'abord du réglage précis de la vitesse de rotation du batteur, qui peut être facilitée par le montage de dispositifs électroniques de contrôle continu de son régime et éventuellement de celui de la perte de grains à la sortie de la paille.

Le fonctionnement particulier du batteur a pour résultat de rejeter la paille sur le sol sous forme d'un andain plus aplati mais plus enchevêtré, mais aussi pour avantage de

supprimer presque totalement la poussière au niveau du poste de conduite en raison de l'important débit d'aspiration à son entrée.

L'adaptation du fonctionnement du batteur axial à différentes récoltes, céréales à paille et maïs, s'obtient par :

- le réglage de son régime de rotation,
- le montage de grilles semi cylindriques du contre batteur adaptées à la dimension du grain,
- le réglage de l'écartement de ces dernières avec le batteur.

Ce nouveau principe de fonctionnement basé sur celui d'un batteur axial monté sur un rotor de grande longueur diffère selon les machines à la fois par :

- le nombre de rotors : un ou deux (birotor) ;
- la hauteur de la position inclinée du ou des rotors par rapport à la table de coupe.

Dans la machine à un seul rotor, le rotor unique est en position basse et avancée pour favoriser le transit de la récolte. Ce rotor est alimenté par les pales de son engreneur qui refoulent la récolte entre le batteur et le cylindre (Fig. 20).

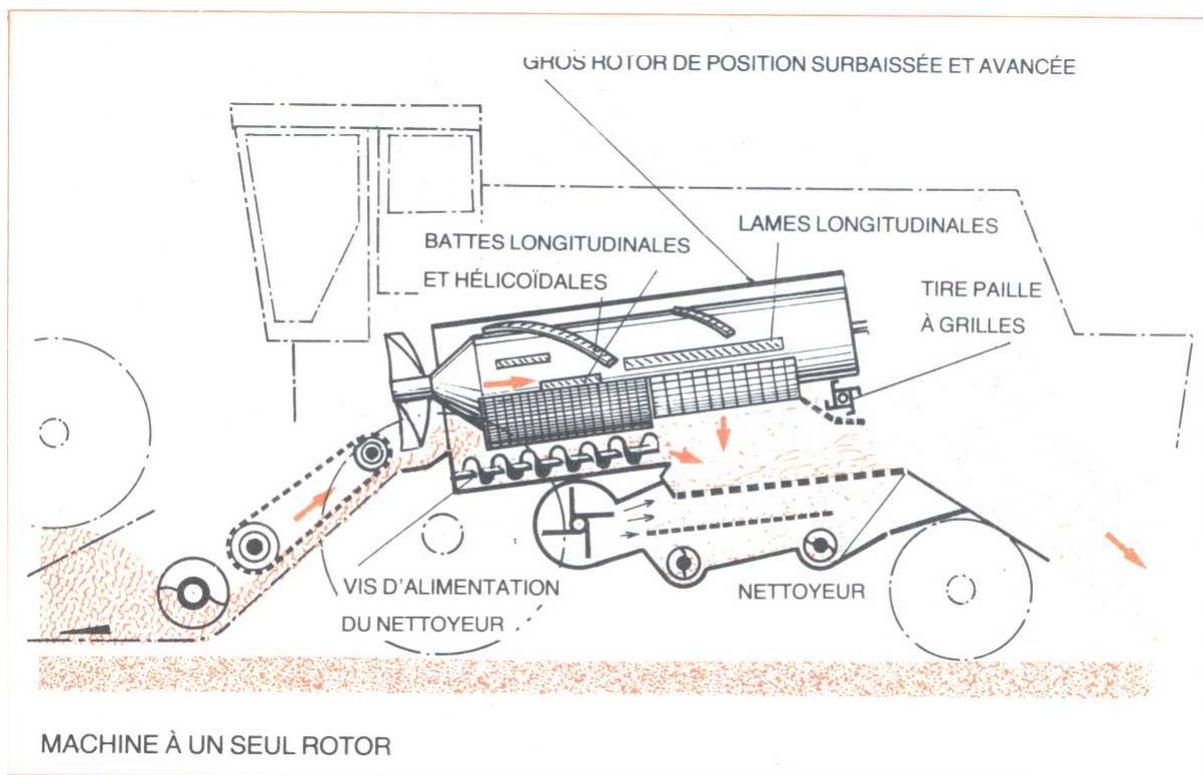


Figure 20 : Machine à un seul rotor [1].



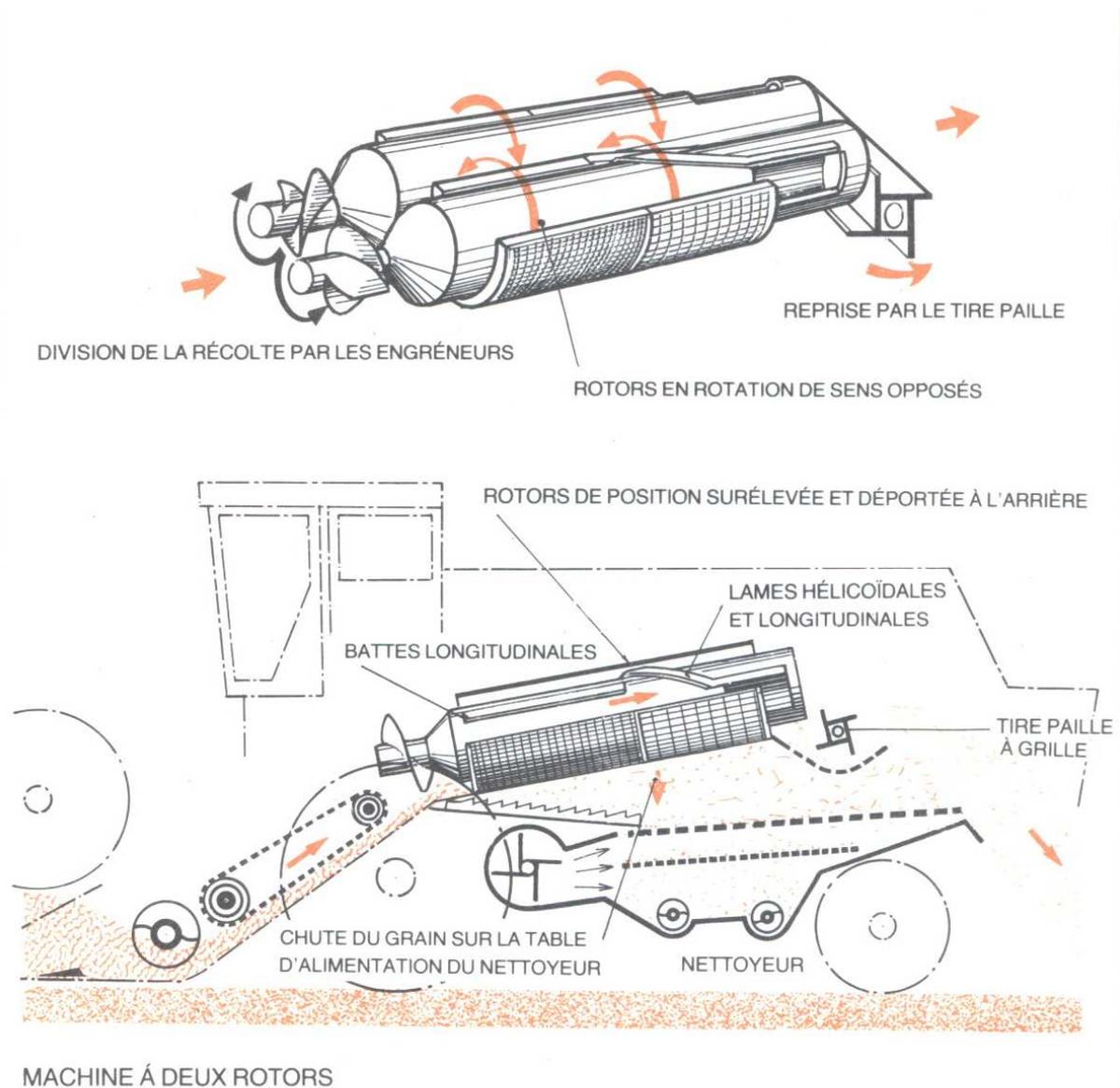


Figure 21: Machine à deux rotors [1].

La moissonneuse-batteuse à batteur axial est considéré comme une machine très performante dans la mesure où elle améliore sensiblement la capacité de surface horaire récoltée grâce à sa possibilité d'alimentation et donc d'avancement plus rapide et possède une bonne maniabilité et un bon confort de conduite dus à son moindre encombrement, au meilleur équilibrage de ses organes et de sa charge en mouvement et à l'aspiration des poussières dégagées sur la table de coupe.

Une autre solution, consistant en un mode de séparation rotative est adopté en complément du battage classique à flux transversal et tangentiel, et comprend un ou plusieurs organes en rotation.

**- Le séparateur rotatif**

Le séparateur rotatif est muni de doigts et complété par une contre-grille. Il est disposé avant les secoueurs et constitue avec le batteur et le tire-paille qui le précèdent, un ensemble de séparation du grain d'efficacité élevée sur une grande largeur. Le tire-paille et sa contre-grille complètent d'abord la séparation du batteur par deux actions combinées sur la récolte :

- l'augmentation de la vitesse du flux proportionnel à celle du batteur ;
- la modification de la direction du flux et son frottement sur la contre-grille.

Le séparateur rotatif dont la vitesse est réglable suivant la nature de la récolte, fait subir à cette dernière un nouveau changement de direction et de vitesse avant sa projection sur les secoueurs. Outre l'amélioration de la séparation avant le secouage, il limite les enroulements au batteur et assure un meilleur dégagement de la paille (Fig. 22).

**- Le rotor transversal à double flux de séparation**

Le rotor à double flux précédé par le séparateur rotatif précédent, remplace les secoueurs par un ensemble de grande largeur et de faible longueur, constitué par :

- Un rotor cylindrique de grand diamètre d'axe transversal tournant à une vitesse réglable et muni d'une double série symétrique d'arêtes hélicoïdales ;

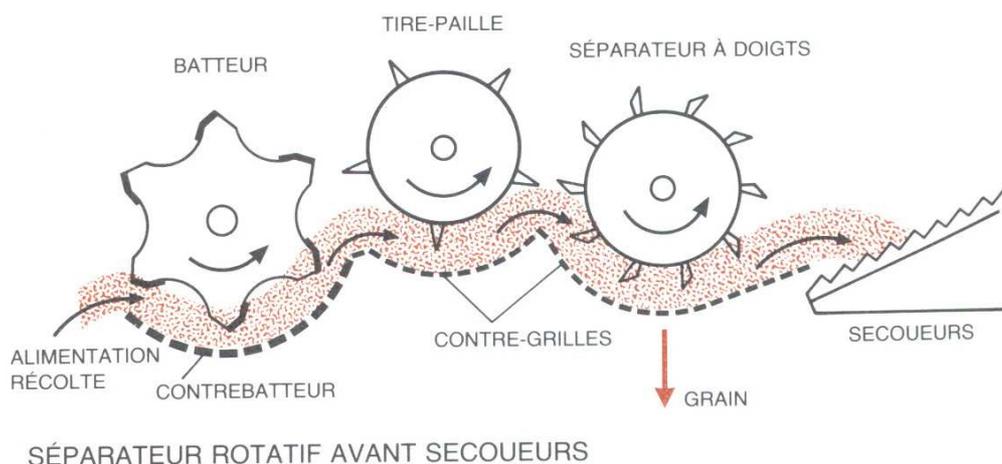


Figure 22: Séparateur rotatif [6].

- Un contre-rotor perforé suivant un enveloppement décalé avec un élément central et deux éléments latéraux. Son action divise le flux de paille en deux flux latéraux de faible épaisseur qui effectuent plus d'un tour complet avant leur expulsion vers l'arrière. La séparation du grain est obtenue par centrifugation et par frottement sur une grande surface, mais avec une assez grande production de paille brisée. L'ensemble permet de réduire la vitesse de rotation du batteur et son fonctionnement est insensible à la perte (Fig.23).

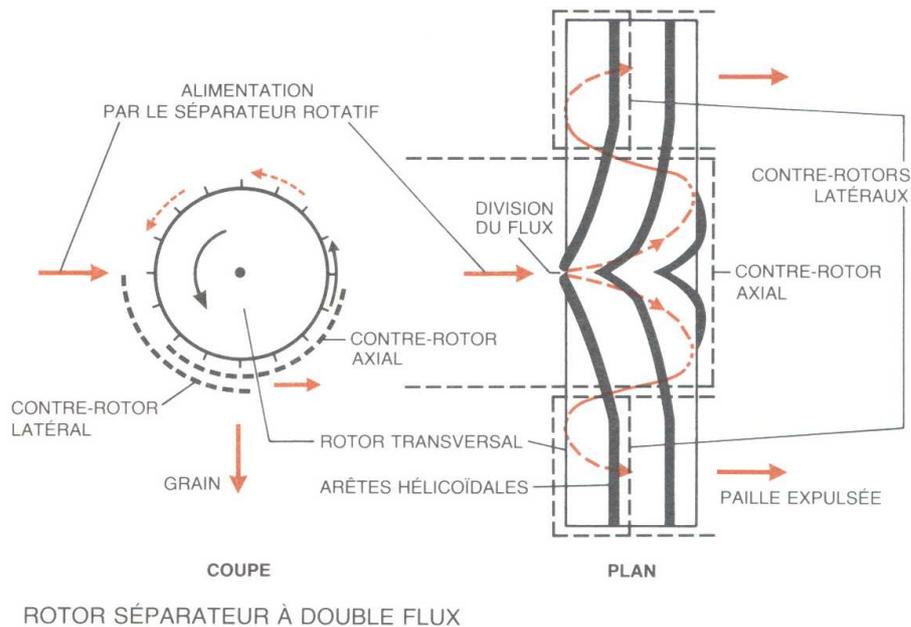


Figure 23: Séparateur à double flux [6].

#### - Le séparateur à cylindres multiples :

Le séparateur à cylindres multiples remplace les secoueurs comme le précédent, par un ensemble de même largeur que le batteur et de longueur réduite, suivant une pente constante.

Il est constitué par :

- Une série de 8 cylindres transversaux identiques, d'axes parallèles entre eux et au batteur, avec une égale légère dénivellation de l'un à l'autre. Ces cylindres sont munis sur leur périphérie et sur toute leur largeur d'ergots disposés en spirales. Ils tournent tous à la même vitesse (Fig.24).

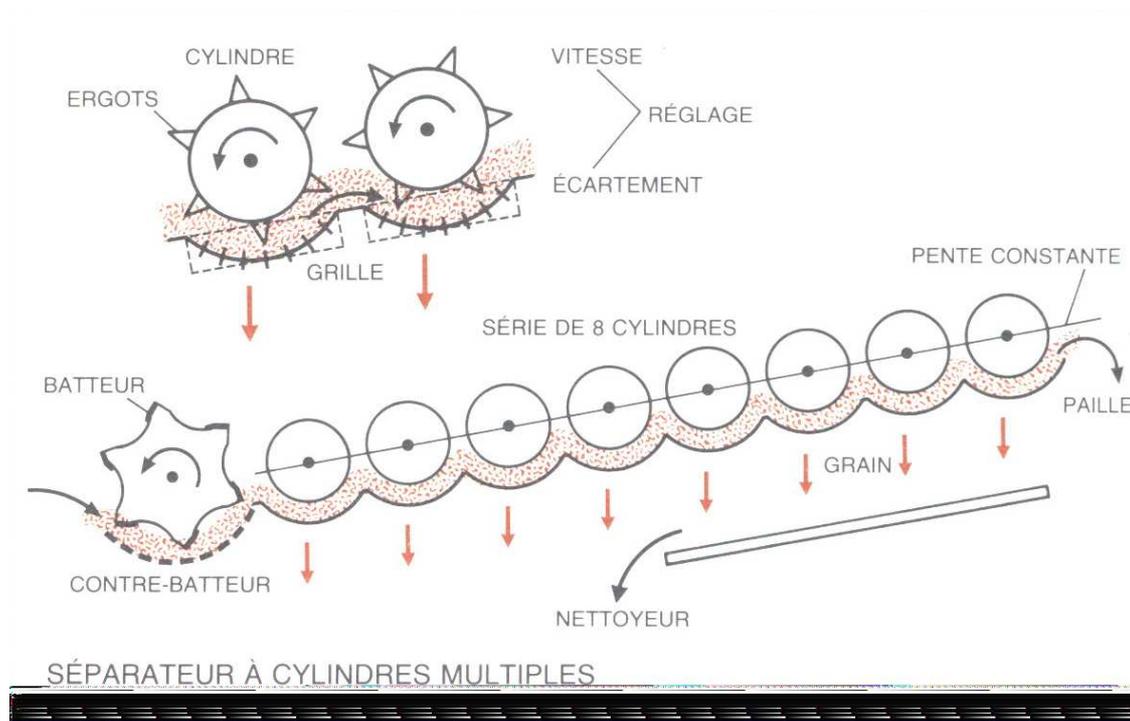


Figure 24: Séparateur à cylindres multiples [6].

- Une série de 08 grilles de profil cylindrique concave correspondant à chacun des 08 cylindres précédents, avec des perforations assez larges. L'écartement de chacune des grilles par rapport à son cylindre est identique et réglable.

La récolte suit un trajet longitudinal incliné, mais est soumise successivement à l'action des cylindres et des grilles. Les grains séparés de la paille passent à travers les perforations de ces dernières, par des effets combinés des chocs, des frottements, de la pression et des changements successifs de trajectoire.

Cet ensemble compact d'encombrement limité produit comme le dispositif précédent, une séparation énergétique qui permet une action moins brutale du batteur et un fonctionnement insensible à la pente.

### 3. Contrôle de fonctionnement et de performance

Les premières machines de grande puissance ont été équipées d'un dispositif de mesure permanente de la hauteur de coupe et d'indication d'appui au sol de la table de coupe et liaison avec la régulation automatique de cette hauteur sur terrain inégal. Les machines, les plus récentes sont équipées en outre, de contrôles centralisés de fonctionnement et de performances.



### 3.2. Contrôle de performances

Ces contrôles concernent surtout la mesure de la perte de grain, mais ils peuvent être étendus à celle du poids de grain vidangé de la trémie et à celle de la surface récoltée à l'heure.

#### - Perte de grain

L'équipement est basé sur un boîtier de mesure [14] disposé près de poste de conduite et relié à :

- ❖ des détecteurs d'impacts de grain sur des plaques sensibles piézoélectriques disposées par paires aux deux extrémités de sortie des secoueurs et à celle du coffre de nettoyage (Fig.26).
- ❖ d'un capteur de vitesse électromagnétique, constitué par une couronne d'aimant et un détecteur d'impulsion électronique au niveau de l'axe de l'essieu moteur.

Le boîtier comprend :

- un calculateur électronique avec filtre d'élimination des impacts de grains anormaux ;
- un indicateur à cadran avec déviation de l'aiguille proportionnelle à la perte de grain et alarme sonore en cas d'excès anormal ;
- divers réglages permettant de séparer les indications de détecteurs de secouage et de nettoyage, d'adapter l'indication au type de grain récolté et d'ajuster la déviation de l'aiguille du cadran à un poids de perte de grain. De plus deux commutateurs permettent de choisir le contrôle en fonction de la vitesse, et donc de la surface récoltée ou en fonction du temps de récolte et sur le flux total de perte ou grain par grain.

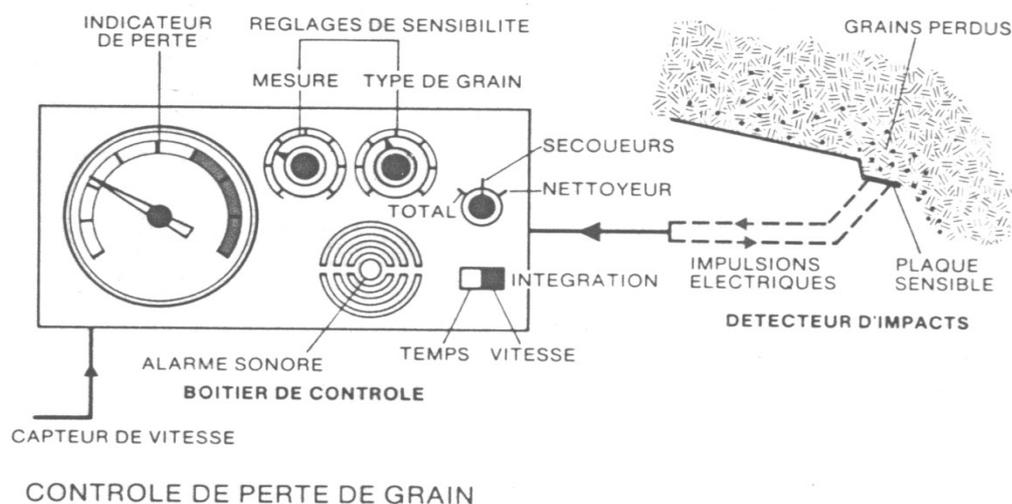


Figure 26: Contrôle de perte de grain [14].







## CHAPITRE III : CONTROLE DES PERFORMANCES DE CINQ MOISSONNEUSES-BATTEUSES.

### 1. Protocole des tests de moissonneuses-batteuses

**1.1. Objectif :** l'objectif de ce travail est d'apprécier les performances des machines de nouvelles générations [16] au travers :

- du débit de récolte ;
- de la qualité du travail (pertes et casse de grains).

### 1.2. Lieu de l'essai

La parcelle de l'essai est située en France, près de la station de Boigneville. La variété est du blé tendre.

### 1.3. Les machines comparées (Tableau 1).

Cinq moissonneuses-batteuses chez cinq constructeurs ont été retenues pour la comparaison. Ce sont des machines à cinq secoueurs et d'une puissance comprise entre 200 et 220 ch (4 machines à battage conventionnel et une machine à battage axial [22 – 24]).

**Tableau 1 :** Les machines comparées

Marque	Modèle	Largeur de Coupe (m)	Puissance (ch)	Largeur du batteur (cm)
CASE IH	2166	4.95	215	61-280*
CLAAS	Méga 204	5.10	200	132
FIAT	L 521	5.40	205	134
JOHN DEERE	2056	5.05	205	140
NEW HOLLANDE	TX 64	5.18	212	130

\* diamètre et longueur du rotor

#### **1.4. Tests sur les pertes et la qualité du grain en fonction du débit de récolte**

Six tests ont été réalisés pour chaque machine avec les débits suivants :

1<sup>er</sup> test à 150 quintaux/heure (q/h)

2<sup>ème</sup> test à 170 q/h

3<sup>ème</sup> test à 190 q/h

4<sup>ème</sup> test à 210 q/h

5<sup>ème</sup> test à 230 q/h

6<sup>ème</sup> test à 250 q/h.

Compte tenu du nombre important de tests, il n'y a pas eu de répétition de mesure.

#### **1.5. Les mesures**

##### **1.5.1. Les conditions de déroulement de l'essai**

- Comptage d'épis et poids de mille grains ;
- Homogénéité de la culture ;
- L'humidité du grain.

##### **1.5.2. Les réglages**

La conduite et les réglages des machines sont assurés par les constructeurs.

##### **1.5.3. Le débit de récolte**

Il est réalisé par chronométrage précis de temps de récolte effective sur la longueur de la parcelle.

##### **1.5.4. Les pertes en grain**

Elles sont réalisées par pesée de l'ensemble des pertes en grains dans les épis imbattus restant dans la paille (secoueurs) et des pertes en grains restant dans la balle (les grilles) : pour cela, une bâche de 3 m large et 30 m de longueur est déroulée derrière chaque machine, après qu'elle ait déjà récolté une bande de 100 m (mise en charge de la moissonneuse-batteuse).

##### **1.5.5. Qualité de battage-nettoyage**

Trois échantillons de grains sont prélevés à la vidange de la trémie dans le conteneur et à chaque passage pour en déterminer :

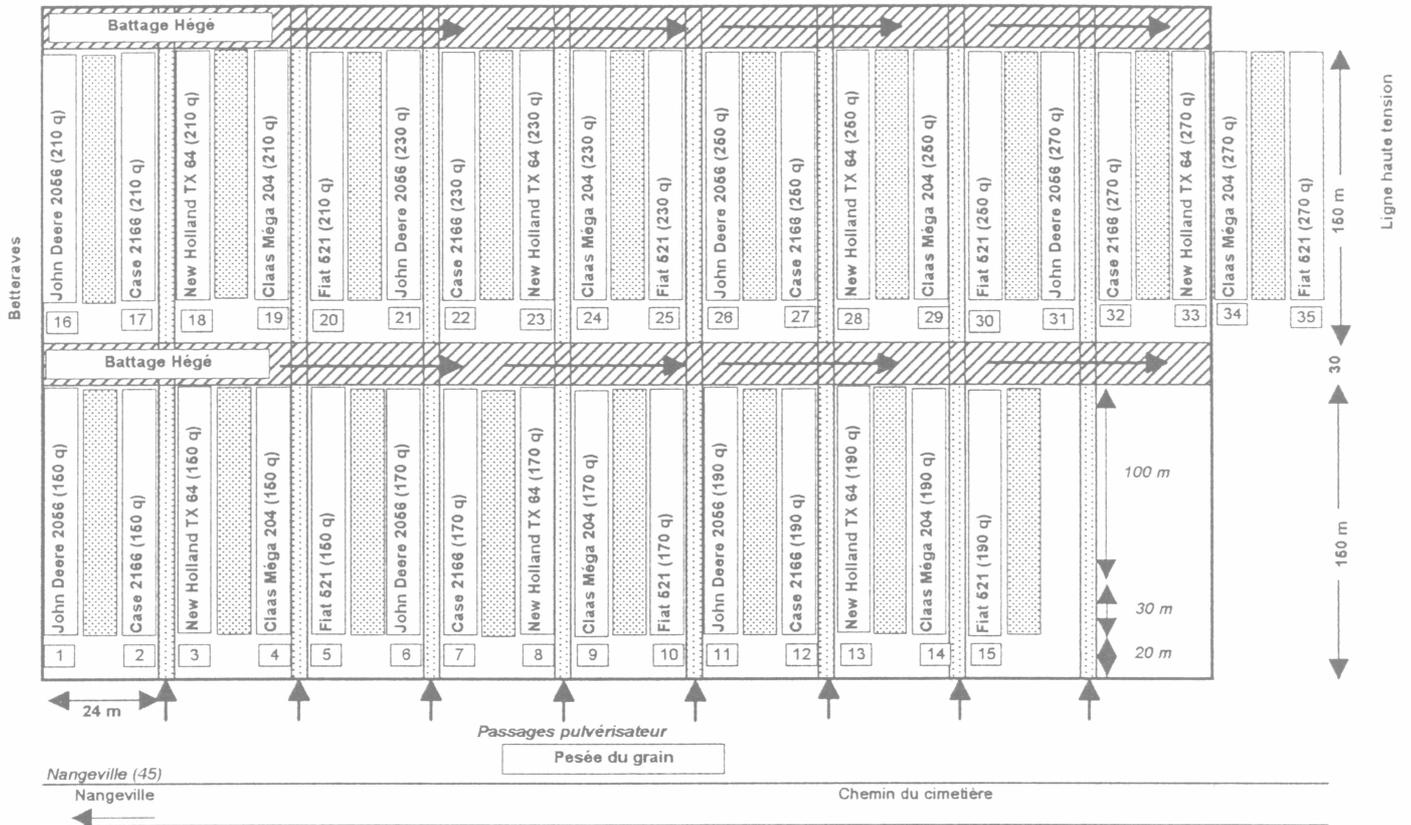
- L'humidité ;
- Le taux d'impuretés ;
- Le taux de grains cassés.

##### **1.5.6. Mesure de la hauteur de coupe**

Elle doit rester inchangée pendant les essais, elle est fixée à 20 cm pour tous les tests.

## 2. Conditions pratiques des tests

### 2.1. Plan du dispositif d'essai



### 2.2. La parcelle de l'essai

La parcelle de l'essai était située à Nangeville à une dizaine de kilomètres de la station ITCF de Boigneville. Sa surface était de 15 ha dont 6 ha étaient réservés pour les réglages et les mesures préliminaires de l'essai.

La culture était un blé tendre de variété Soissons (variété barbue), facile à battre. Elle ne connaît aucune zone versée et sa hauteur à la récolte était de 1 m environ.

Avec 600 épis/m<sup>2</sup> et un poids de 1 000 grains (PMG) de 38,2 g, le potentiel de rendement était de 95,6 q/ha à l'humidité de 25%.

### 2.3. Les caractéristiques des moissonneuses-batteuses.

Les principales caractéristiques des moissonneuses batteuses de l'essai sont données dans le tableau 2 ci-dessous.

Tableau 2 : Caractéristiques des moissonneuses batteuses de l'essai

Caractéristiques	John Deere 2056	Case 2166	New Holland TX 64	Claas Méga 204	Fiat 521
Coupe :					
- largeur	5.50 m	4.95 m	5.18 m	5.10 m	5.40 m
- releveurs	Oui, souple (17) JD	Non	Non	Oui, souple (17) Claas	Non
-distance lame- vis	38.5 cm	35.5 cm	32.5 cm	37.5 cm	35.5 cm
-diamètre vis l'alimentation	410 mm	604 mm	360 mm	300 mm	310 mm
Batteur principal :					
- diamètre		Rotor :			
- largeur	660 mm	610 mm	600 mm	450 mm	600 mm
	1.40 m	2.80 m	1.30 m	1.32 m	1.34 m
Contre-batteur principal					
-angle d'enveloppement					
-surface en m <sup>2</sup>	121° 0.90 m <sup>2</sup>	3.70 m <sup>2</sup>	101° 0.72 m <sup>2</sup>	151° 0.85 m <sup>2</sup>	106° 0.83 m <sup>2</sup>
Batteur supplémentaire					
-appellation	Batteur secondaire		Séparateur rotatif	Accélérateur APS	Multi crop separator
-position/batteur	Après		Après	Avant	Après
-diamètre	400 mm		605 mm	435 mm	600 mm
-régime (tr/mn)	850 variable		400-760	80%du régime Du batteur	250-750
Secoueur					
-longueur	4.60 m		3.23 m	4.40 m	4.25 m
-surface	6.40 m <sup>2</sup>	8.6 m <sup>2</sup>	4.36 m <sup>2</sup>	5.80 m <sup>2</sup>	5.73 m <sup>2</sup>

### 3. Les résultats des tests

Les résultats des observations et mesures présentés dans les tableaux suivants sont donnés dans l'ordre de réalisation des différents tests sur le terrain et ceci pour les 5 machines.

Dans les conditions de l'essai, les résultats des tests compris entre 150 et 190 q/h correspondent à des possibilités normales de récolte pour cette catégorie de machines. Entre 190 et 230 q/h, ils correspondent à une utilisation « poussée » des matériels et au-delà, à un niveau anormal d'emploi de cette catégorie de moissonneuse-batteuse. Tous les résultats de débits (q/h) sont exprimés en débit instantané, sans tenir compte des contraintes de chantiers (temps de virage, de vidange, forme des parcelles...). Pour être utilisés à des fins pratiques, ils doivent être corrigés par un coefficient compris entre 0,7 et 0,8 selon les conditions de récoltes.

#### 3.1. Résultats du test 1 : Objectif 150 q/h

**Tableau 3: Résultats du test 1**

	John Deere 2056	Case 2166	New Holland Tx64	CLAAS Mega	Fiat 121	Moyenne
Vitesse batteur tr/mn (m/s)	910 31,4	1030 32,9	900 28,3	1000 23,5	1060 33,3	
Écartement batteur/c. batteur mm	8 – 5	0,8	10 – 10	10 – 7	12 – 4	
Ouverture grille sup. (mm)	13 – 15	13 – 13	10	17 – 17	10	
Ouverture grille inf. (mm)	6	7	5	7 à 8	5	
Ventilateur (tr/mn)	1370	960	700	1200	760	
Vitesse de travail (Km/h)	3,09	3,47	3,21	3,09	3,07	3,18
Paille : hauteur de coupe (cm)	21,9	26,9	20,5	22,1	26,0	23,5
Humidité des grains (%)	12,5	12,1	12,5	11,9	12,1	12,2
Quantité des grains récoltés (q/ha)	90,66	96,74	91,02	95,46	93,06	93,99
Débit en grain récolté (q/h)	156,48	165,04	153,18	157,32	156,25	157,65
Surface récoltée (ha/h)	1,726	1,706	1,683	1,648	1,679	1,688
Poids de 1000 grains (g)	-	-	38,7	-	-	-
Grains cassés (%)	2,5	0,4	2,4	1,7	1,7	1,7
Impuretés (%)	0,6	0,8	1,2	1,2	1,0	1,0
Pertes en grains (Kg/ha)	13	21	19	17	6	15
Rendement (récolte + pertes) q/ha	90,79	96,95	91,21	95,64	93,12	93,54
Pertes en % de la production/ha	0,14	0,22	0,21	0,18	0,06	0,16

Avec des écarts de débits faibles entre machines (153-165 q/h), les pertes sont très faibles pour l'ensemble des 5 machines comparées en particuliers pour la Fiat 512.

Au niveau de la quantité du produit récolté, le taux de casse ne dépasse pas 2,5% malgré une faible humidité de récolte (12%). On observe, cependant, 3 niveaux de casse de grains :

- 0,4% pour Case IH ;
- 1,7% pour CLAAS et Fiat ;
- 2,4 – 2,5% pour New-Holland et John Deere.

Pour les impuretés deux machines sont au dessus de 1%, la New-Holland et la CLAAS. Rappelons que pour le blé de meunerie, les seuils de tolérance à la réception sont les suivants :

- grains cassés : 3 %
- impuretés : 1 %

### 3.2. Résultats du test 2 : Objectif 170 q/h

**Tableau 4 : Résultats du Test 2**

	John Deere 2056	Case 2166	New Holland Tx64	CLAAS Mega	Fiat 121	Moyenne
Vitesse batteur tr/mn	910	1030	900	1000	1060	
m/s	31,4	32,9	28,3	23,5	33,3	
Écartementbatteur/c.batteurmm	8 – 5	0,8	10 – 10	10 – 7	12 – 4	
Ouverture grille sup. mm	13 – 15	13 – 13	10	17 – 17	10	
Ouverture grille inf. mm	6	7	5	7 à 8	5	
Ventilateur tr/mn	1370	960	700	1200	760	
Vitesse de travail Km/h	3,55	3,86	3,55	3,59	3,37	3,58
Paille : hauteur de coupe cm	19,6	14,1	18	20,8	19,8	18,5
Humidité des grains %	12	11,9	11,9	11,4	11,6	11,9
Quantité des grains récoltés q/ha	92,62	93,27	94,82	95,28	96,64	94,54
Débit en grain récolté q/h	182	178,8	175,32	179,12	176,26	178,3
Surface récoltée ha/h	1,965	1,917	1,849	1,88	1,825	1,887
Poids de 1000 grains g			38,3			
Grains cassés %	2	0,4	2,7	1,5	1,5	1,6
Impuretés %	0,5	1,2	1,3	1,1	0,7	1
Pertes en grains Kg/ha	19	27	37	36	22	28
Rendement (récolte + pertes) q/ha	92,8	93,54	95,2	95,65	96,9	94,82
Pertes en % de la production/ha	0,2	0,29	0,39	0,37	0,23	0,3

Pour des débits très proches entre machines (175-182 q/ha), les niveaux de pertes restent faibles avec moins de 40 Kg/ha. En ce concerne la quantité au produit récolté, 3 machines sont au dessus de 1% (Case IH, New-Holland, CLAAS).

### 3.3. Résultats du test 3 : Objectif 190 q/h

**Tableau 5 : Résultats du Test 3**

	John Deere 2056	Case 2106	New Holland Tx64	CLAAS Mega	Fiat 121	Moyenne
Vitesse batteur tr/mn (m/s)	910 31,4	1030 32,9	900 28,3	1000 23,5	1060 33,3	
Écartement batteur/c. batteur mm	8 – 5	0,8	10 – 10	10 – 7	12 – 4	
Ouverture grille sup. mm	13 – 15	13 – 13	10	17 – 17	10	
Ouverture grille inf. mm	6	7	5	7 à 8	5	
Ventilateur tr/mn	1370	960	700	1200	760	
Vitesse de travail Km/h	3,97	4,26	4,16	3,98	3,55	3,98
Paille : hauteur de coupe cm	19,2	15	18	21,7	19,5	18,7
Humidité des grains %	11,9	11,7	11,8	11,5	11,3	11,6
Quantité des grains récoltés q/ha	94,42	96,22	91,03	94,92	93,53	94,02
Débit en grain récolté q/h	206,78	202,35	200,27	198,19	179,39	197,4
Surface récoltée ha/h	2,19	2,103	2,2	2,088	1,918	2,1
Poids de 1000 grains g			39,3			
Grains cassés %	2,4	0,5	2,8	1,6	2,2	1,9
Impuretés %	0,3	0,8	0,8	1,2	0,8	0,8
Pertes en grains Kg/ha	40	45	46	41	27	40
Rendement (récolte + pertes) q/ha	94,84	96,67	91,49	95,33	93,8	94,42
Pertes en % de la production/ha	0,42	0,46	0,5	0,43	0,29	0,42

Les débits mesurés sont supérieurs 8 à 16 q/h aux débits objectifs, exception de la Fiat (- 11q), ce qui explique, pour cette machine, le niveau plus faible de pertes, pertes qui, d'autre part sont d'un niveau bas (- 50 Kg/ha) pour des débits d'environ 200 q/h.

A ce niveau de débit, on n'observe aucun changement dans la qualité du produit par rapport aux tests 1 et 2.

### 3.4. Résultats du test 4 : Objectif 210 q/h

**Tableau 6 : Résultats du test 4**

	John Deere 2056	Case 2106	New Holland Tx64	CLAAS Mega	Fiat 121	Moyenne
Vitesse batteur tr/mn m/s	910 31,4	1030 32,9	900 28,3	1000 23,5	1060 33,3	
Écartement batteur/C. batteur mm	8-5	0.8	10-10	10-7	12-4	
Ouverture grille sup. mm	13-15	13-13	10	17-17	10	
Ouverture grille inf. mm	6	7	5	7 à 8	5	
Ventilateur tr/mn	1370	960	700	1200	760	
Vitesse de travail Km/h	4,33	4,62	4,46	4,39	4,1	4,38
Paille : hauteur de coupe cm	22	21,9	19,4	23,7	19,4	21,3
Humidité des grains %	11,1	10,7	10,9	10,6	10,7	10,8
Quantité des grains récoltés q/ha	95,59	95,97	91,55	99,57	97,07	95,95
Débit en grain récolté q/h	226,64	220,92	210,93	230,3	216,47	221,05
Surface récoltée ha/h	2,371	2,302	2,304	2,313	2,23	2,304
Poids de 1000 grains g			36,4			
Grains cassés %	3,4	0,7	2,5	1,7	2,3	2,1
Impuretés %	1,1	1,5	1,3	1,7	1,1	1,3
Pertes en grains Kg/ha	63	44	43	132	71	71
Rendement (récolte + pertes) qx/ha	96,22	96,42	91,98	100,89	97,78	96,66
Pertes en % de la production/ha	0,65	0,46	0,47	1,31	0,73	0,72

Trois machines sont nettement au dessus du débit objectif du test et principalement la CLAAS avec 230 q/h. Le potentiel de rendement plus élevé (100 q/ha) dans la zone de test et son débit élevé expliquent les pertes plus élevées en grain (132 Kg/ha).

Au niveau de la qualité du grain, toutes les machines dépassent le seuil de tolérance en impuretés. Une seule machine (John Deere ) dépasse ce seuil de tolérance de grains cassés .

**3.5. Résultats du test 5 : Objectif 230 q/h****Tableau 7 : Résultats du Test 5**

	John Deere 2056	Case 2166	New Holland Tx64	CLAAS Mega	Fiat 121	Moyenne
Vitesse batteur tr/mn (m/s)	910 31,4	1030 32,9	900 28,3	1000 23,5	1060 33,3	
Écartement batteur/c.batteur mm	8-5	0.8	10-10	10-7	12-4	
Ouverture grille sup. mm	13-15	13-13	10	17-17	10	
Ouverture grille inf. mm	6	7	5	7 à 8	5	
Ventilateur tr/mn	1370	960	700	1200	760	
Vitesse de travail Km/h	4,69	5,22	4,8	4,7	4,53	4,79
Paille : hauteur de coupe cm	22,5	15,2	17,2	25,1	20,7	20,14
Humidité des grains %	10,5	10,6	10,7	10,4	10,5	10,54
Quantité des grains récoltés q/ha	97,6	95,23	96,21	95,86	93,86	95,69
Débit en grain récolté q/h	251,12	246,64	239,37	237,83	229,61	240,91
Surface récoltée ha/h	2,573	2,59	2,488	2,481	2,455	2,517
Poids de 1000 grains g			38,9			
Grains cassés %	4,7	1,3	4,1	2	3,5	3,1
Impuretés %	1,2	1	0,9	2,3	0,7	1,2
Pertes en grains Kg/ha	119	76	148	96	219	131,6
Rendement (récolte + pertes) qx/ha	98,78	95,98	97,64	96,82	95,72	96,99
Pertes en % de la production/ha	1,2	0,79	1,51	0,99	2,28	1,35

\*\* Réglages modifiés

Les débits sont toujours plus élevés que celui qui était fixé pour ce test à l'exception de Fiat 521 avec 229 q/h. Malgré ce débit plus faible que les autres machines, la Fiat a perdu le plus, ce qui la différencie des autres machines.

Trois machines dépassent le seuil de 3% de grains cassés, mais l'humidité de récolte est très faible avec moins de 11%.

D'une manière générale, le taux des pertes devient élevé, ce qui indique que certaines ont dépassé leur capacité optimale de récolte.

Pour ce test Fiat a modifié l'ouverture de la grille inférieure passant de 5 à 6 mm.

### 3.6. Résultats du test 6 : Objectif 250 q/h

**Tableau 8 : Résultats du Test 6**

	John Deere 2056	Case 2166	New Holland Tx64	CLAAS Mega	Fiat 121	Moyenne
Vitesse batteur tr/mn (m/s)	910 31,4	1030 32,9	900 28,3	1000 23,5	1060 33	
Écartement batteur/c. batteur mm	8-5	0.8	10-10	10-7	12-4	
Ouverture grille sup. mm	13-15	13-13	10	17-17	10	
Ouverture grille inf. mm	6	7	5	7 à 8	5	
Ventilateur tr/mn	1410 **	960	700	1200	820* *	
Vitesse de travail Km/h	5,27	5,59	5,23	4,98	4,94	5,18
Paille : hauteur de coupe cm	20,9	16,5	19,1	26,9	18,8	20,4
Humidité des grains %	10,5	10,3	10,3	10,6	10,6	10,5
Quantité des grains récoltés q/ha	93,52	96,05	93,33	96,8	92,6	94,46
Débit en grain récolté q/h	268,4	264,9	253,95	250,61	246,87	256,94
Surface récoltée ha/h	2,87	2,758	2,721	2,589	2,666	2,72
Poids de 1000 grains g			37,9			
Grains cassés %	3,1	0,6	3	2,4	2,8	2,4
Impuretés %	0,6	0,8	0,9	1	0,4	0,7
Pertes en grains Kg/ha	259	114	207	167	329	215
Rendement (récolte + pertes) qx/ha	96,11	97,19	95,4	98,46	95,89	96,21
Pertes en % de la production/ha	2,69	1,17	2,17	1,699	3,43	2,23

\*\* Réglages modifiés

Deux machines ont des débits nettement plus élevés que l'objectif recherché :

- John Deere = 268 q/h ;
- Case = 265 q/h.

La Case présente le niveau de perte le plus faible. À l'opposé, celui de la Fiat est le plus élevé bien qu'elle ait fourni le débit le plus faible.

### 3.7. Résultats du test 7 : Objectif 270 q/h

**Tableau 9 : Résultats du Test 7**

	John Deere 2056	Case 2166	New Holland Tx64	CLAAS Mega	Fiat 121	Moyenne
Vitesse batteur tr/mn (m/s)	880 * * 30,4 * *	1030 32,9	900 28,3	1000 23,5	1060 33	
Écartement batteur/C. batteur mm	8-5	0,8	10-10	10-7	12-4	
Ouverture grille sup. mm	13-15	13-13	10	17-17	10	
Ouverture grille inf. mm	6	7	5	7 à 8	5	
Ventilateur tr/mn	1440 * *	960	700	1200	850* *	
Vitesse de travail Km/h	5,58	6,03	5,65	5,41	5,29	5,59
Paille : hauteur de coupe cm	19	17,5	19	18,6	25,2	19,8
Humidité des grains %	10,3	10,2	10,6	10,6	10,6	10,5
Quantité des grains récoltés q/ha	89,53	95,07	87,95	92,89	100,43	93,17
Débit en grain récolté q/h	275,12	283,12	259,1	264,92	288,23	274,1
Surface récoltée ha/h	3,073	2,978	2,946	2,852	2,87	2,944
Poids de 1000 grains g			37,7			
Grains cassés %	2,5	0,4	2,8	1,8	3	2,1
Impuretés %	0,4	0,9	1,1	1,1	0,3	0,8
Pertes en grains Kg/ha	596	86	411	464	197	351
Rendement (récolte + pertes) qx/ha	95,49	95,93	92,06	97,53	102,4	96,68
Pertes en % de la production/ha	6,24	0,9	4,46	4,76	1,92	3,65

\*\* Réglages modifiés

Le test a été modifié uniquement en vue d’observer le comportement des machines à des débits extrêmes pour cette catégorie de moissonneuse-batteuse.

Deux machines sont au dessus du débit objectif du Test : la New-Holland et la CLAAS.

On remarque les bonnes performances de la Case avec un débit de 283 q/h de grain ; le taux de pertes est de moins de 1% et le taux de grains cassés est de 0,4%.

La Fiat a moins de 1,9% de pertes mais a été favorisée par le faible volume de paille absorbée dû à une hauteur de coupe plus importante (25 cm). Son taux de casse de grains est de 3%.

#### 4. Synthèse des résultats

##### 4.1. Résultats Débits-Pertes des machines

Les courbes de la fig.28 permettent de définir, pour chaque machine, leurs performances pour différents taux de pertes exprimés en % du rendement total du blé. Pour établir un classement des performances des 5 machines et selon différentes allures de récolte, 3 niveaux de pertes ont été retenus (0,5-1-2%).

Ces résultats sont présentés dans le tableau 10.

**Tableau 10 : Résultats débits-pertes des machines**

Performances au seuil de pertes de			
	0,5%	1%	2%
1	Case : 225 q/h	Case : 255 q/h	Case plus de 283 q/h
2	John Deere et CLAAS : 255 q/h	John Deere : 245 q/h	John Deere : 265 q/h
3	-	CLAAS : 235 q/h	CLAAS et New-Holland : 250 q/h
4	New-Holland : 205 q/h	New-Holland : 225 q/h	-
5	Fiat : 195 q/h	Fiat : 220 q/h	Fiat : 225 q/h

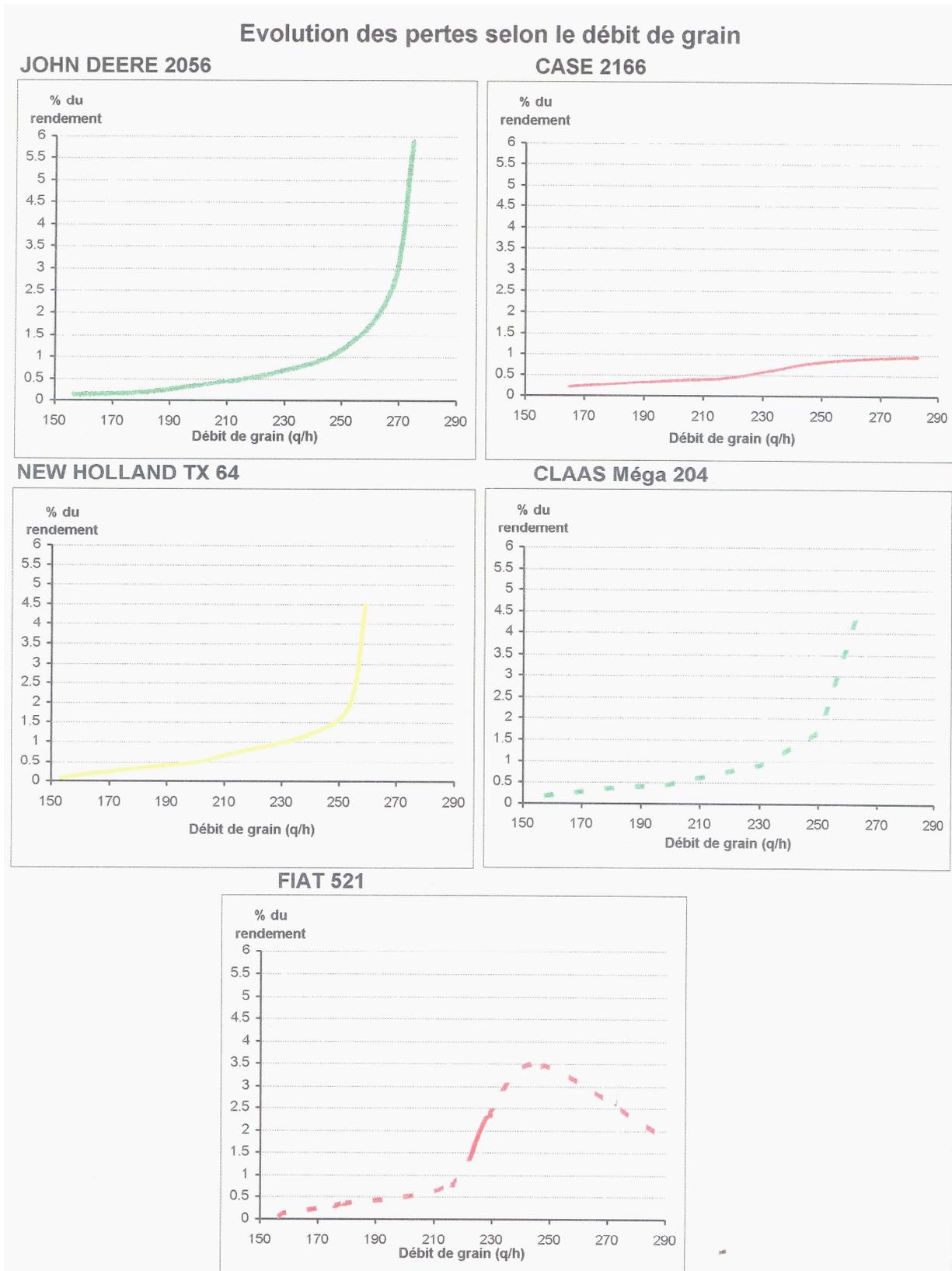


Figure 28 : Pertes selon le débit de grain pour les machines testées.

## 4.2. Résultats de la casse des grains et des impuretés

Les tableaux suivants donnent les taux de grains cassés et ceux des impuretés pour chacune des cinq machines et pour 3 niveaux de débits : 150 à 190 q/h, 190 à 230 q/h et 230 à 270 q/h. rappelons que pour le blé de meunerie, les seuils de tolérance sont les suivants :

- Grains cassés = 3% ;
- Impuretés = 1%.

### 4.2.1. Grains cassés

Le tableau 11 donne les résultats de grains cassés au seuil de 3%.

**Tableau 11 : Grains cassés au seuil de 3%**

Débits	150-190 q/h	190-230 q/h	230-270 q/h
1	Case : 0,4 %	Case : 0,8 %	Case : 0,8 %
2	CLAAS : 1,6 %	CLAAS : 1,8 %	CLAAS : 2,1 %
3	Fiat : 1,8 %	Fiat : 2,6 %	Fiat : 3,1 %
4	John Deere : 2,3 %	New-Holland : 3,1 %	New-Holland : 3,3 %
5	New-Holland : 2,6 %	John Deere : 3,5 %	John Deere : 3,4 %

On observe que les machines John Deere et New-Holland dépassent le seuil de 3 % pour les deux derniers niveaux de débits.

### 4.2.2. Impuretés

Le tableau 12 donne les résultats concernant les taux d'impuretés au seuil de tolérance de 1 %.

**Tableau 12 : Taux d'impuretés au seuil de 1%**

Débits	150-190 q/h	190-230 q/h	230-270 q/h
1	John Deere : 0,4 %	John Deere et Fiat : 0,9 %	Fiat : 0,5 %
2	Fiat : 0,8 %	-	John Deere : 0,7%
3	Case : 0,9%	New-Holland : 1%	Case : 0,9 %
4	New-Holland : 1,1 %	Case : 1,1 %	New-Holland : 1%
5	CLAAS : 1,2 %	CLAAS : 1,7 %	CLAAS : 1,5 %

On observe que pour presque tous les niveaux de débits les machines New-Holland et CLAAS dépassent le seuil de 1%.

## CONCLUSION DE LA PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE

A la lumière de cette étude bibliographique portant sur la théorie des organes de la moissonneuse batteuse, l'étude des pertes en grains à la récolte, les tendances actuelles dans la construction des moissonneuses batteuses et le contrôle des performances de quelques machines testées, nous comprenons combien la récolte mécanisée des céréales est complexe : elle est liée aux paramètres de construction de la machine et aux conditions de la récolte.

En fonction des paramètres de la récolte (humidité, récolte versée, présence de plantes vertes....) nous devons bien positionner la hauteur du rabatteur et veiller à ce que la vitesse d'avancement de la machine soit inférieure à la vitesse périphérique des lattes car ceci conditionne grandement les pertes à la récolte à l'avant de la machine.

Les casses de grains au batteur et les pertes à l'arrière de la machine sont liées aux réglages de la vitesse de rotation du batteur, de l'écartement batteur et contre batteur et de la vitesse d'avancement de la machine ; l'augmentation de la vitesse d'alimentation (paille + grain) diminue la casse des grains ce qui s'explique par l'effet coussin formé par la couche de paille qui amortit le choc des battes.

La technologie des moissonneuses batteuses a beaucoup évolué dans le monde alors qu'en Algérie on utilise toujours des machines sans confort, sans accessoires de détection de pertes en grain, de réglage automatique de devers... Mais il faut dire aussi que pour adapter l'équipement moderne d'aujourd'hui à notre agriculture il faut augmenter les rendements des céréales. Les rendements en France par exemple atteignent les 100 qx/ha et les machines peuvent récolter avec un débit de 250 q/h.

# Partie expérimentale

**Introduction :**

Afin de cerner toutes les pertes en grain au niveau des moissonneuses batteuses, nous avons réalisé 05 expérimentations telles que décrites ci-dessous et une partie économique pour déterminer le coût d'utilisation de ces machines dans nos conditions.

- **Première expérimentation : Essais de détermination de la force de détachement du grain de l'épi.**
- **Deuxième expérimentation : Etude des pertes au tablier de coupe de la moissonneuse-batteuse.**
- **Troisième expérimentation : Etude de la relation entre le débit de grain et les pertes sur les deux principales machines classiques utilisées en Algérie.**
- **Quatrième expérimentation : Influence de l'humidité du grain sur les conditions de battage du blé.**
- **Cinquième expérimentation : Etude des pertes en grain sur la moissonneuse batteuse « Awial-Flow » de la Firme « Case IH ».**
- **Partie économique : Détermination du coût d'utilisation des moissonneuses-batteuses.**

## PREMIERE EXPERIMENTATION

### ESSAIS DE DETERMINATION DE LA FORCE DETACHEMENT DU GRAIN DE L'ÉPI.

L'objectif de cet essai est de déterminer une propriété physique importante qui est la force nécessaire à développer pour détacher le grain de son épi. Selon le protocole expérimental en relation avec l'humidité et les variétés de blé, on peut connaître les variétés difficiles à battre et en tenir compte lors des réglages de moissonneuse-batteuse. En effet, durant le processus de battage, l'égrenage se fait essentiellement par choc et par frottement : action des battes sur les épis ou au contact du contre batteur cylindrique puis la séparation s'effectue au contact d'une contre-grille par centrifugation. La vitesse périphérique des battes doit être suffisante pour provoquer l'égrenage tout en limitant la casse du grain. Plus l'égrenage est difficile, c'est-à-dire une force de liaison grain-épi est importante plus il faut réduire l'écartement batteur / contre batteur sans toutefois entraîner l'endommagement des grains.

La force de détachement du grain de l'épi (ou force de liaison grain-épi) est déterminée par la méthode centrifuge qui consiste à fixer radialement des épis sur un rotor tournant dans une enceinte vidée d'air et d'enregistrer les vitesses pour lesquelles, il y a détachement des grains. Puis on procède au calcul de la force centrifuge.

#### 1. Dispositif expérimental

Pour la détermination de la force centrifuge de détachement du grain, il était nécessaire de concevoir et de réaliser un dispositif au laboratoire de Génie Rural.

Le dispositif se compose d'un socle en acier, coiffé d'une trémie sous laquelle on a fixé un moteur électrique, entraînant un port épi dans l'enceinte de la trémie, placé dans une position radiale par rapport à l'axe de rotation (Fig.29).

L'étanchéité du dispositif est assurée par un couvercle en plexiglas pour palier aux effets de la différence de pression entre l'extérieur et l'intérieur de la cuve. Par le bas des presse-étoupe assurent l'étanchéité au niveau de l'arbre en rotation.

Le vide est assuré par une pompe à vide relié à une vanne manuelle par l'intermédiaire de conduites flexibles ; cette vanne est reliée à la trémie par le biais de conduites en cuivre sur

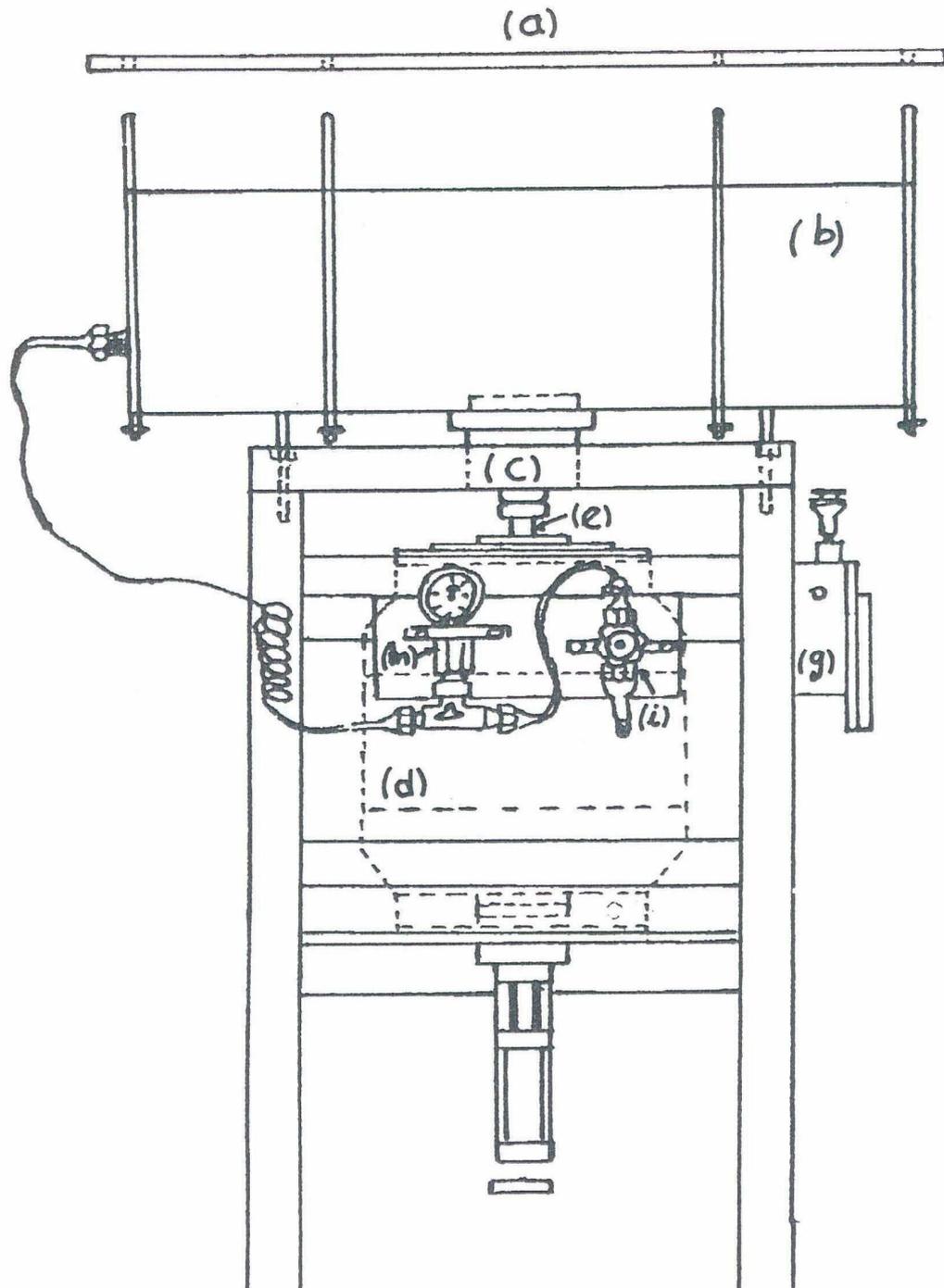


Figure 29: Schéma du dispositif expérimental [35].

**a** : Couvercle en plexiglas, **b** : Trémie en acier, **c** : Flasque à presse étoupes, **d** : Moteur électrique, **e** : Arbre de transmission, **g** : Tachymètre, **h** : Manomètre de dépression, **i** : Vanne manuelle.

lesquelles on a posé un manomètre à dépression permettant le contrôle de la dépression dans la trémie .

La lecture de la vitesse de rotation est obtenue par un tachymètre étalonné grâce à une lampe stroboscopique.

La variation de la vitesse de rotation du moteur est commandée par un variateur de vitesse électronique à thyristors.

Le port épi, constitué de deux lames en polyéthylène superposées, est percé au milieu pour permettre sa fixation sur l'arbre (axe de rotation) et aux deux extrémités pour assurer une bonne fixation de l'épi.

## **2. Protocole expérimental**

Les essais consistent à soumettre sous vide un épi de blé placé dans une position horizontale à un mouvement de rotation et d'enregistrer les vitesses instantanées du détachement des grains. Les vitesses de rotations peuvent varier dans une large « plage » allant de 800 tr/mn à 2800 tr/mn pour permettre le détachement d'un maximum de grain.

On soumet à cette expérience 4 variétés de blé  $V_1, V_2, V_3, V_4$  à 3 humidités différentes  $H_1, H_2, H_3$ .

Le rayon moyen pris en considération représente la distance entre le centre de rotation du rotor et le milieu de l'épi. Au moment du détachement détecté par l'effet sonore de l'impact de grain sur la paroi de la trémie, on note la vitesse de rotation, le nombre de grain (nb) ainsi que leur masse, afin de calculer la force nécessaire au détachement.

On pourra ainsi, définir l'influence de l'humidité et de la variété sur la force nécessaire à la séparation du grain de l'épi [41].

### 3. Matériels et méthodes

#### 3.1. Matériel

##### 3.2.1. Matériel végétal

Deux variétés de blé tendre (ANZA et HIDHAB) et deux variétés de blé dur (HOGGAR et WAHA)[5] ont été retenues pour nos essais. Ces variétés étaient récoltées au niveau de la station expérimentale de l'Institut Technique des Grandes Cultures de Sétif.

##### 3.1.1.1. Blé tendre

**La variété ANZA** : c'est une variété qui est cultivée dans toutes les zones céréalières même au sud sous pivot. Ses principales caractéristiques agronomiques :

- Type : Blé tendre à semer en hiver ;
- Précocité : variété semi-précoce à précoce ;
- Tallage : court < 100 cm ;
- Poids de 1000 grains : faible de 30 à 35 g ;
- Productivité : élevée ;
- Densité de semis : 110 à 130 Kg/ha, selon la date et l'état de sol.

**La variété HIDHAB** : elle est cultivée sur la zone littorale, les plaines intérieures et les hauts plateaux ; ses principales caractéristiques agronomiques sont :

- Type : blé tendre à semer en hiver ;
- Précocité : variété semi précoce légèrement plus tardive que la variété ANZA ;
- Tallage : moyen à fort ;
- Poids de 1000 grains : moyen, environ 40 g ;
- Productivité : bonne ;
- Densité de semis : 120 à 140 Kg/ha selon le type de sol ;
- Fertilité de l'épi : 40 à 50 grains / épi ;
- Tolérance : modérément tolérant à la verse et aux rouilles.

##### 3.1.1.2. Le blé dur

**La variété HOGGAR :** elle est cultivée dans toutes les zones céréalières où la pluviométrie annuelle moyenne est supérieure à 400 mm à l'instar des variétés « Oued Zenati » et « BIDI 17 » ; ses caractéristiques agronomiques sont :

- Type : blé dur à semer en automne ;
- Précocité : semi-précoce, légèrement plus tardif que la variété WAHA ;
- Tallage : moyen ;
- Poids de 1000 grains : élevé, environ 45 à 50 g ;
- Productivité : très bonne, 50 à 60 qx/ha en culture pluviale ;
- Densité de semis : 120 à 150 Kg/ha selon l'état du sol.

**La variété WAHA :** cette variété s'adapte aux hauts plateaux et aux plaines intérieures où la pluviométrie varie entre 200 et 300 mm ; ses principales caractéristiques agronomiques :

- Type : blé dur à semer en automne ;
- Précocité : variété précoce ;
- Tallage : moyen à fort ;
- Poids de 1000 grains : moyen ;
- Productivité : très bonne ;
- Densité de semis :

### 3.1.2 Autre matériel

- Un dispositif expérimental réalisé au laboratoire de Machinisme ;
- Une balance de précision électronique ;
- Une étuve ;
- Une lampe stroboscopique.

## 3.2. Méthodes expérimentales

### 3.2.1. Mesure de l'humidité

Des échantillons ont été prélevés à des moments différents pour avoir trois taux d'humidité :

- Taux d'humidité élevé > 22% : échantillon prélevé juste avant la récolte ;
- Taux d'humidité moyen : 15 à 18% : échantillon prélevé en plein récolte ;
- Taux d'humidité faible : 9 à 11% : échantillons prélevés en fin de récolte.

La détermination de taux d'humidité (H) s'est fait par la méthode classique, en ayant le poids frais (Pf), le poids sec (Ps) après passage à l'étuve et à 105°) selon la formule :

$$H = \frac{P_f - P_s}{P_f} \cdot 100\%$$

### 3.2.1. Calcul de la force centrifuge

Après avoir déterminé les vitesses angulaires pour lesquelles, il y a détachement du grain selon la rotation :

$$\omega = \frac{\pi \cdot n}{30}$$

Où :  $\omega$  = rd/s ;

n = tr/mn (vitesse de rotation du rotor du moteur électrique)

On calcule la force centrifuge (force de liaison du grain) selon la rotation :

$$F = m \cdot r \cdot \omega^2 \text{ (N)}$$

Où : m = mem : masse élémentaire d'un grain libéré d'une vitesse donnée (g) ;

r : rayon moyen d'épi (m) ;

$\omega$  : Vitesse angulaire du rotor (rd/s).

## 4. Résultats et discussions

### 4.1. Résultats

#### 4.1.1 Variétés ANZA

Les tableaux 13, 14 et 15 donnent les résultats des essais concernant la variété ANZA pour trois humidités différentes (  $H_1=10,12\%$  ;  $H_2= 17,4\%$  ;  $H_3 = 22,4\%$  ).

Le rayon (r) moyen de l'épi est de 18,7 cm ; à la fin de l'essai il restait 5 grains imbattus (grains non détachés de l'épi), pour  $H_1$ , 2 grains pour  $H_2$  et 1 grains pour  $H_3$ .

**Tableau 13** : Variation des différents paramètres en fonction des régimes pour l'humidité

$H_1 = 10,12\%$ .

n (tr/mn)	Nb	m (g)	mem (g)	F (N)
-----------	----	-------	---------	-------

1500	1	0,03	0,03	0,13
1700	2	0,07	0,035	0,2
1800	8	0,27	0,034	0,22
1900	1	0,04	0,04	0,29
2400	2	0,06	0,03	0,35
2600	16	0,52	0,033	0,45
2800	11	0,3	0,027	0,43
3200	10	0,34	0,034	0,71

**Tableau 14** : Variation des différents paramètres en fonction des régimes pour humidité $H_2 = 17,4\%$ .

n (tr/mn)	nb	m (g)	mem (g)	F (N)
1700	4	0,22	0,055	0,31
2100	7	0,29	0,042	0,38
2300	28	1,00	0,036	0,39
2500	5	0,17	0,034	0,43
2600	2	0,1	0,05	0,69
2900	1	0,06	0,06	1,03
3200	1	0,04	0,04	0,84
3300	5	0,2	0,04	0,89

**Tableau 15** : Variation des différents paramètres en fonction des régimes pour humidité $H_3 = 22,4\%$ .

n (tr/mn)	nb	m (g)	mem (g)	F (N)
1700	2	0,08	0,04	0,23
2400	15	0,48	0,032	0,37
2500	14	0,42	0,03	0,38
2600	3	0,09	0,03	0,41
2700	3	0,12	0,04	0,59
3000	15	0,54	0,036	0,66
3300	2	0,06	0,03	0,67
3800	2	0,09	0,045	1,33

#### 4.1.2 Variété HIDHAB

Les tableaux 16, 17 et 18 donnent les résultats des essais concernant la variété HIDHAB pour trois humidités différentes ( $H_1 = 10,20\%$  ;  $H_2 = 17,78\%$  ;  $H_3 = 22,46\%$ ).

Le rayon (r) moyen est de 18,5 cm ; à la fin de l'essai il restait 1 grain imbattu pour  $H_1$ , 3 grains pour  $H_2$  et 1 grains pour  $H_3$ .

**Tableau 16** : Variation des différents paramètres en fonction des régimes pour l'humidité

$H_1 = 10,20\%$

n (tr/mn)	Nb	m (g)	mem (g)	F (N)
800	2	0,08	0,04	0,05
1100	1	0,03	0,03	0,07
1200	2	0,06	0,03	0,08
1400	3	0,09	0,033	0,12
1500	2	0,07	0,035	0,15
1700	1	0,04	0,04	0,23
1800	2	0,06	0,033	0,21
1900	3	0,13	0,043	0,31
2000	3	0,12	0,04	0,31
2100	2	0,06	0,03	0,26
2200	2	0,09	0,045	0,43
2300	4	0,14	0,035	0,37
2400	5	0,20	0,041	0,47
2600	8	0,26	0,033	0,44
2800	9	0,27	0,031	0,48
3000	10	0,35	0,035	0,62

**Tableau 17** : Variation des différents paramètres en fonction des régimes pour l'humidité

$H_2 = 17,78\%$

n (tr/mn)	nb	m (g)	mem (g)	F (N)
800	2	0,12	0,06	0,07
1800	7	0,29	0,041	0,26
1900	10	0,46	0,046	0,33
2000	7	0,32	0,045	0,35
2100	2	0,11	0,055	0,48
2200	16	0,81	0,051	0,49
2400	8	0,45	0,057	0,66
2600	2	0,08	0,04	0,54
3000	2	0,09	0,045	0,8

**Tableau 18:** Variation des différents paramètres en fonction des régimes pour l'humidité

$$H_3 = 22,46\%$$

n (tr/mn)	nb	m (g)	mem (g)	F (N)
1200	1	0,03	0,03	0,08
1300	3	0,09	0,032	0,1
1400	4	0,19	0,048	0,18
1600	8	0,33	0,042	0,21
2400	9	0,47	0,053	0,61
2500	4	0,2	0,05	0,62
2600	1	0,04	0,04	0,54
2700	15	0,78	0,052	0,75
2800	12	0,61	0,051	0,79
3200	3	0,09	0,03	0,61

#### 4.1.3 Variété VITRON (HOGGAR)

Les tableaux 19, 20 et 21 donnent les résultats des essais concernant la variété VITRON pour trois humidités différentes ( $H_1 = 10,15\%$  ;  $H_2 = 17,54\%$  ;  $H_3 = 22,86\%$ ).

Le rayon ( $r$ ) est de 16,5 cm ; à la fin de l'essai il restait 5 grains imbattus pour  $H_1$ , 1 grain pour  $H_2$  et 1 grain pour  $H_3$ .

**Tableau 19 :** Variation des différents paramètres en fonction des régimes pour l'humidité

$$H_1 = 10,15\%$$

n (tr/mn)	nb	m (g)	mem (g)	F (N)
2200	4	0,12	0,03	0,26
2400	2	0,08	0,04	0,41
2500	6	0,33	0,055	0,62
2600	4	0,21	0,052	0,64
2800	8	0,48	0,06	0,85
3000	13	0,68	0,052	0,85
3200	14	0,66	0,047	0,87

**Tableau 20** : Variation des différents paramètres en fonction des régimes pour l'humidité $H_2 = 17,54\%$ 

n (tr/mn)	nb	m (g)	mem (g)	F (N)
2700	7	0,30	0,043	0,56
2800	8	0,46	0,058	0,82
2900	8	0,49	0,062	0,95
3000	4	0,14	0,035	0,65
3200	10	0,4	0,04	0,74
3400	21	0,69	0,033	0,68

**Tableau 21** : Variation des différents paramètres en fonction des régimes pour l'humidité $H_3 = 22,86$ 

n (tr/mn)	nb	m (g)	mem (g)	F (N)
2700	3	0,14	0,046	0,6
2800	4	0,18	0,045	0,63
2900	6	0,38	0,064	0,97
3000	15	0,97	0,065	1,05
3200	13	0,88	0,068	1,25
3300	10	0,6	0,06	1,18
3400	4	0,23	0,057	1,2
3800	3	0,21	0,073	1,9

#### 4.1.4 Variété WAHA

Les tableaux 22, 23 et 24 donnent les résultats des essais concernant la variété WAHA pour trois humidités différentes ( $H_1 = 10,25\%$  ;  $H_2 = 17,30\%$  ;  $H_3 = 22,15\%$ ).

Le rayon (r) moyen est de 17,5 cm ; à la fin de l'essai il restait : 2 grains non battus pour  $H_1$ , 4 grains pour  $H_2$  et 4 grains pour  $H_3$ .

Tableau 22 : Variation des différents paramètres en fonction des régimes pour l'humidité  $H_1 = 10,25\%$

n (tr/mn)	nb	m (g)	mem (g)	F (N)
2300	6	0,21	0,035	0,35
2500	5	0,22	0,045	0,53
2600	7	0,35	0,050	0,64
2800	4	0,21	0,053	0,78
3000	10	0,58	0,058	1,0
3100	12	0,62	0,052	0,95
3300	12	0,58	0,049	1,02

Tableau 23 : Variation des différents paramètres en fonction des régimes pour l'humidité

$H_2 = 17,30\%$

n (tr/mn)	nb	m (g)	mem (g)	F (N)
2800	16	0,72	0,045	0,67
2900	10	0,60	0,060	0,96
3000	4	0,25	0,063	1,08
3100	3	0,15	0,05	0,92
3200	2	0,09	0,045	0,88
3400	15	0,60	0,04	0,88

Tableau 24 : Variation des différents paramètres en fonction des régimes pour l'humidité

$H_3 = 22,15\%$

n (tr/mn)	nb	m (g)	mem (g)	F (N)
2800	2	0,09	0,045	0,72
2900	3	0,14	0,049	0,77
3000	6	0,39	0,086	1,13
3200	10	0,51	0,088	1,33
3300	15	1,03	0,069	1,4
3400	5	0,36	0,072	1,59
3600	3	0,22	0,075	1,86
3800	6	0,45	0,076	2,1

## 4.2 Interprétation

Les interprétations sont faites pour chaque variété en relation avec les différentes humidités puis on fera une comparaison inter- variétal blé dur- blé tendre.

### 4.2.1. Blé tendre

#### 4.2.1.1 Variété ANZA

Pour cette variété nous constatons que les premiers détachements de grains sont enregistrés dès 1500 tr/mn pour H1 et seulement dès 1700 tr/mn pour H2 et H3. Puis, il faut pratiquement dépasser 2100 tr/mn et 2300 tr/mn pour respectivement H2 et H3 pour avoir d'autres détachements de grains ; les derniers détachements se réalisent à 3800 tr/mn pour H3, à 3300 pour H2 et à 3200 tr/mn pour H1. On conclue que plus l'humidité augmente plus il devient difficile d'égrener les épis (Fig. 30).

Les forces maximales de détachements des grains sont obtenues à des régimes élevés pour chaque humidité. ; les forces de détachement augmentent avec l'humidité.

La force optimale, par contre, semble plus intéressantes pour l'humidité H2 ; pour cette humidité, la force optimale est de 0,39 N pour 2300 tr/mn avec 28 grains détachés ; alors que pour H1,  $F= 0,45$  N et que pour H3,  $F= 0,66$  N. On peut conclure que l'humidité H2 = 17% permet un meilleur égrenage ; ce qui correspond d'ailleurs aux recommandations bibliographiques.

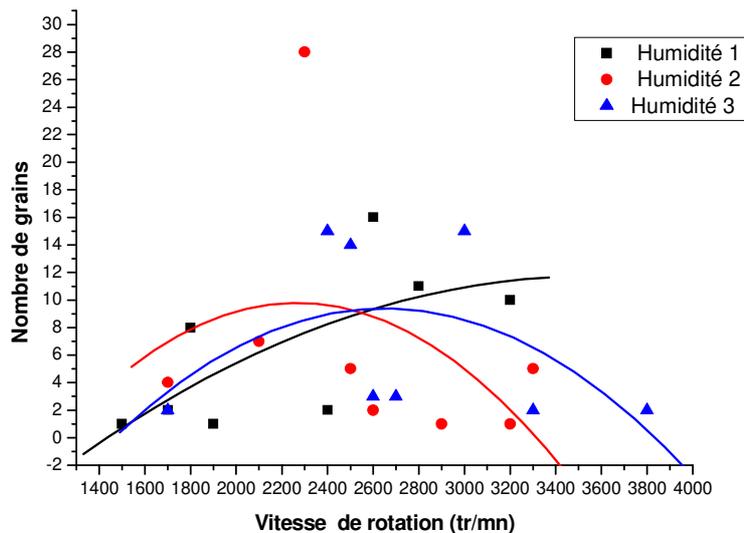


Figure 30 : Nombre de grains détachés en relation avec la vitesse de rotation (Variété ANZA)

Les équations obtenues sont de la forme  $y = a + bx + cx^2$  (type linéaire polynomiale du second degré). Ces équations sont représentées comme suit :

$$\text{Humidité 1} \quad N_g = -21,20 + 0,018v - 2,6010^{-6}v^2 \quad R^2 = 0,85$$

$$\text{Humidité 2} \quad N_g = -35,60 + 0,04v - 8,8510^{-6}v^2 \quad R^2 = 0,87$$

$$\text{Humidité 3} \quad N_g = -37,57 + 0,03v - 6,6810^{-6}v^2 \quad R^2 = 0,77$$

#### 4.2.1.2. Variété HIDHAB

Pour cette variété les premiers détachements commencent à des régimes de 800 tr/mn pour H1 et H2 et de 1200 tr/mn pour H3. Mais dans l'ensemble les régimes les plus élevés permettent un meilleur égrenage et ces régimes sont élevés en H1 et en H3 (Fig.31).

Les forces optimales de détachement des grains augmentent avec l'augmentation de l'humidité mais elles sont obtenues à des régimes différents ; en effet pour H1 on a  $F = 0,62 \text{ N}$

à 3000 tr/mn (10 grains détachés), pour H2 on a  $F = 0,49$  N pour 2200 tr/mn (16 grains détachés) et  $F = 0,75$  N pour 2700 tr/mn (15 grains détachés); l'humidité optimale reste toujours H2. Il est toujours préférable de travailler à des régimes plutôt bas, car dans la moissonneuse-batteuse il y a d'autres paramètres qui interviennent quand le régime augmente, notamment la casse des grains.

En comparant les deux variétés de blé tendre ANZA et HIDHAB, par rapport aux forces optimales, aux régimes de détachement des grains et au plus grand nombre de grains détachés aux forces optimales (28 pour ANZA et 16 pour HIDHAB), on peut dire que la variété ANZA est plus facile à égrener.

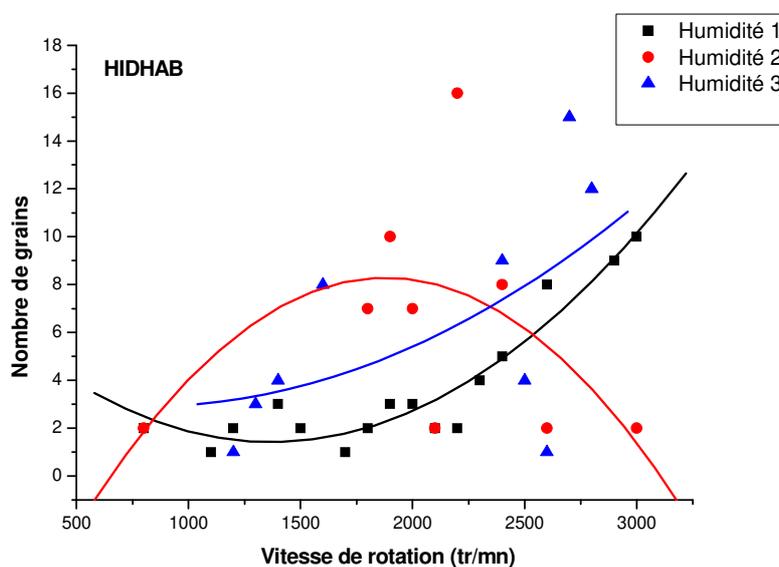


Figure 31 : Nombre de grains détachés en relation avec la vitesse de rotation  
Variété HIDHAB

Les équations obtenues sont de la forme  $y = a + bx + cx^2$  (type linéaire polynomiale du second degré). Ces équations sont représentées comme suit :

$$\text{Humidité 1} \quad N_g = 7,58 - 0,009v + 3,2810^{-6}v^2 \quad R^2 = 0,90$$

$$\text{Humidité 2} \quad N_g = -11,17 + 0,020v - 5,50 \cdot 10^{-6}v^2 \quad R^2 = 0,93$$

$$\text{Humidité 3} \quad N_g = 4,07 - 0,002v + 1,76 \cdot 10^{-6}v^2 \quad R^2 = 0,91$$

## 4.2.2 Blé dur

### 4.2.2.1 Variété VITRON

Pour cette variété, les régimes des premiers détachements des grains sont élevés. On a 2200 pour H1, 2700 tr/mn pour H2 et pour H3. Un plus grand nombre de grains se détache à des régimes élevés pour chaque humidité ; ces régimes sont de 3200 tr/mn pour H1, 3400 tr/mn pour H2 et 3000 tr/mn pour H3 (voir fig.32).

Les forces optimales de détachement des grains sont élevées. Elles son de 0,87 N, de 0,6 N et de 1,05 N respectivement pour les régimes et les humidités cités.

Ces résultats ne donnent pas clairement l'humidité de travail puisque la meilleure force optimale est obtenue en H2 et avec un nombre meilleur de grains détachés (21) mais à un régime plus élevé qu'en H1 avec une force optimale de 0,87 N et 14 grains détachés. Il faut donc chercher un compromis entre H1 et H2 en tenant compte de la casse des grains.

Au vu des résultats, cette variété est difficile à battre, les forces optimales et maximales (jusqu'à 1,9 N) sont élevées.

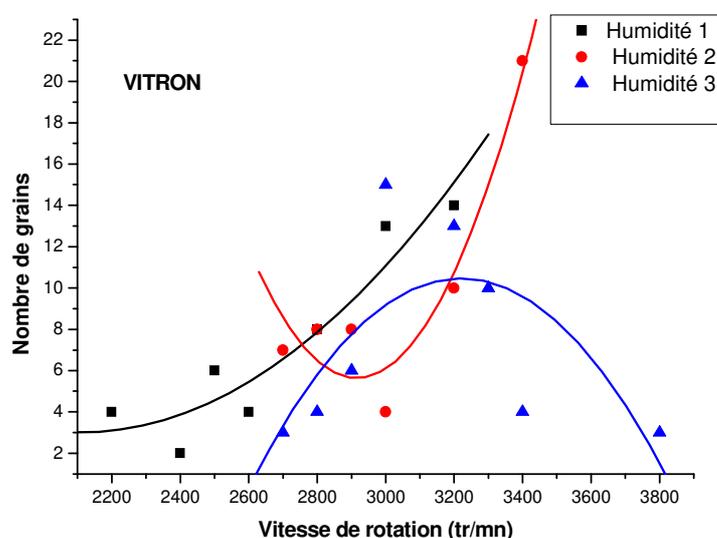


Figure 32: Nombre de grains détachés en relation avec la vitesse de rotation (Variété Vitron)

Les équations obtenues sont de la forme  $y = a + bx + cx^2$  (type linéaire polynomiale du second degré). Ces équations sont représentées comme suit :

$$\text{Humidité 1} \quad N_g = 48,46 - 0,04v + 1,02 \cdot 10^{-5} v^2 \quad R^2 = 0,89$$

$$\text{Humidité 2} \quad N_g = 542,09 - 0,36v + 6,31 \cdot 10^{-5} v^2 \quad R^2 = 0,91$$

$$\text{Humidité 3} \quad N_g = -263,81 + 0,71v - 2,64 \cdot 10^{-5} v^2 \quad R^2 = 0,79$$

#### 4.2.1.2 La variété WAHA

Pour cette variété les régimes des premiers détachements des grains sont plus élevés par rapport à la variété VITRON. Les forces optimales sont aussi élevées et obtenues à des régimes élevés. L'humidité H2 offre un meilleur détachement des grains dans la mesure où une force de 0,67 N est obtenue à un régime de 2800 tr/mn (Fig.33).

Les forces maximales de détachement des grains sont élevées pour chaque humidité et augmentent quand l'humidité augmente. Cette variété est encore plus difficile à battre que la variété VITRON d'autant plus qu'il reste beaucoup de grains non détachés.

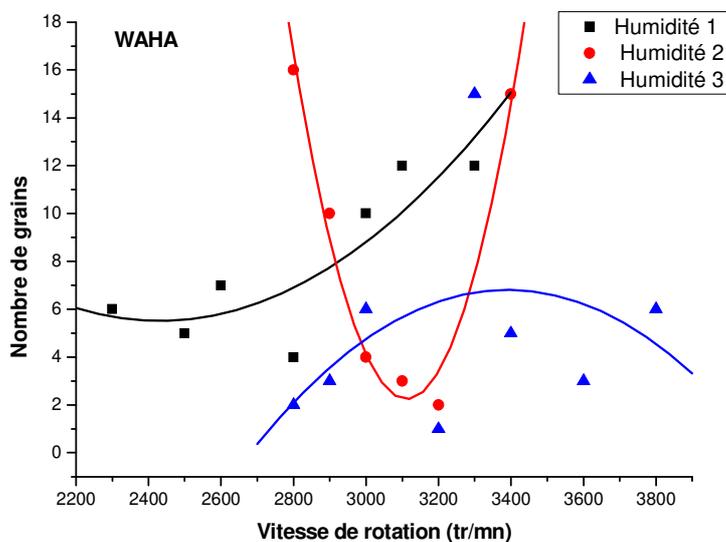


Figure 33: Nombre de grains détachés en relation avec la vitesse de rotation  
Variété Waha

Les équations obtenues sont de la forme  $y = a + bx + cx^2$  (type linéaire polynomiale du second degré). Ces équations sont représentées comme suit :

$$\text{Humidité 1} \quad N_g = 65,70 - 0,04v + 1,02 \cdot 10^{-5} v^2 \quad R^2 = 0,74$$

$$\text{Humidité 2} \quad N_g = 1443,39 - 0,92v + 1,48 \cdot 10^{-4} v^2 \quad R^2 = 0,97$$

$$\text{Humidité 3} \quad N_g = -148,34 + 0,09v - 1,34 \cdot 10^{-5} v^2 \quad R^2 = 0,94$$

### Conclusion

Les essais effectués ont bien confirmé que le meilleur taux d'humidité des grains pour la récolte est 18% ; en effet aux environs de cette valeur, la force nécessaire au détachement du plus grand nombre de grains est obtenue à une vitesse de rotation plus modérée et reste assez faible comparée à la force nécessaire au détachement des grains pour une humidité plus importante (supérieure à 20%).

## DEUXIEME EXPERIMENTATION

### Étude des pertes au tablier de coupe de la moissonneuse-batteuse

Les machines de récolte des céréales disponibles en Algérie sont principalement la « CLAAS Mercator » de fabrication allemande et la « SABA » de fabrication algérienne. Cette dernière est fabriquée à l'usine de machines agricoles de Sidi Bel Abbes sous licence « CLAAS ». Ce sont des machines classiques conventionnelles.

Il existe aussi quelques machines de firme Case IH « axial flow 1660 » qui travaillent sous pivot dans le sud algérien chez des agriculteurs privés. Ce sont des machines non conventionnelles.

Les principales caractéristiques des machines Claas et Saba sont :

Tablier de coupe	Largeur de coupe	4,20 m
	Hauteur de coupe	0,75 – 1.50 m
	Diamètre du rabatteur	1,05 m
	Présence de releveur d'épis	
Organes de battage	Diamètre du batteur	450 mm
	Largeur du batteur	1250 mm
	Nombre de latte	06
	Vitesse du batteur	650 – 1500 tr/mn
	Longueur du contre- batteur	0,414 m
	Surface du contre –batteur	0,517 m <sup>2</sup>
Secoueurs	Nombre	04
	Longueur	3,50 m
	Surface de secouage	4,50 m <sup>2</sup>
Organes de nettoyage	Type de ventilateurs	A palettes
	Diamètre du ventilateur	0,64 m
	Vitesse de rotation du ventilateur	650 tr/mn
	Nombre de grilles	02
	Surface de tamisage	3,15 m <sup>2</sup>

Les principales caractéristiques de la machine Case IH sont :

Tablier de coupe	Largeur de coupe	7.70m
Rotor et cage	Diamètre et longueur	0.61 – 2.82 m
	Nombre de pales de l'engrenneur	03
	vitesse	280 – 1260 tr/mn
Contre batteur	Angle d'enroulement	143°
	Surface totale calculée pour céréales	3.68m <sup>2</sup>
Grille de séparation	Nombre et type	03 – lisse
	Surface totale des grilles	0.60 m <sup>2</sup>
	Surface de séparation cage	0.62 m <sup>2</sup>
	Surface totale calculée pour céréales	8.56 m <sup>2</sup>
Grilles de nettoyage	Coffre de nettoyage	sous-pression
	Surface totale sous l'action du vent	4.14 m <sup>2</sup>
Ventilateur	vitesse	380 à 1200 tr/mn

L'objectif de cet essai est de déterminer les pertes au tablier de coupe de la moissonneuse-batteuse « SABA » en relation avec le coefficient cinématique  $\alpha$ . Ce coefficient est donné par

le quotient de la vitesse du rabatteur sur la vitesse d'avancement de la machine ( $\lambda = \frac{v_{rab}}{v_a}$ )

Les vitesses du rabatteur et d'avancement de la machine doivent être appropriées pour éviter des pertes importantes à l'avant de la machine. La hauteur de position du rabatteur influe aussi sur les pertes, il est important de déterminer la position la plus convenable.

Les essais réalisés concernent :

- Influence de la vitesse de rotation du rabatteur sur les pertes ;
- Influence de la vitesse d'avancement de la machine sur les pertes ;
- Influence de la hauteur de position du rabatteur sur les pertes.

Il est donc intéressant de comprendre comment évoluent les pertes en relation avec la vitesse de rotation du rabatteur et avec la vitesse d'avancement de la machine.

### **1. Matériel et méthodes**

Cette étude a été réalisée à la station expérimentale de l'Institut Technique des Grandes Cultures (ITGC) de Oued Smar (Alger) et a porté sur du le blé tendre –Variété ANZA-. Le rendement était de 47,4 qx/ha. Les pertes naturelles au moment des essais étaient de 14,7 Kg/ha (0,31% du rendement) ; l'humidité moyenne du grain était de 16,37%. Pour chaque essai, on délimite une bande de culture de 100 m de longueur. Sur cette bande, on effectue une série d'échantillonnage à raison de 3 répétitions.

Les paramètres prélevés pour chaque essai concernent :

- Le rendement théorique ( $\text{g/m}^2$ ) : cinq échantillons de 01  $\text{m}^2$  blé sur pied ont été prélevés sur chaque bande d'essai afin qu'ils soient battus et pesés ;
- Les pertes naturelles :  $\text{g/m}^2$  ;
- Les pertes au tablier de coupe ;
- L'humidité relative des grains.

## 2. Résultats et discussion

### 2.1. Influence de la vitesse de rotation du rabatteur sur les pertes en grains de blé

Les principaux résultats sont présentés dans le tableau 25.

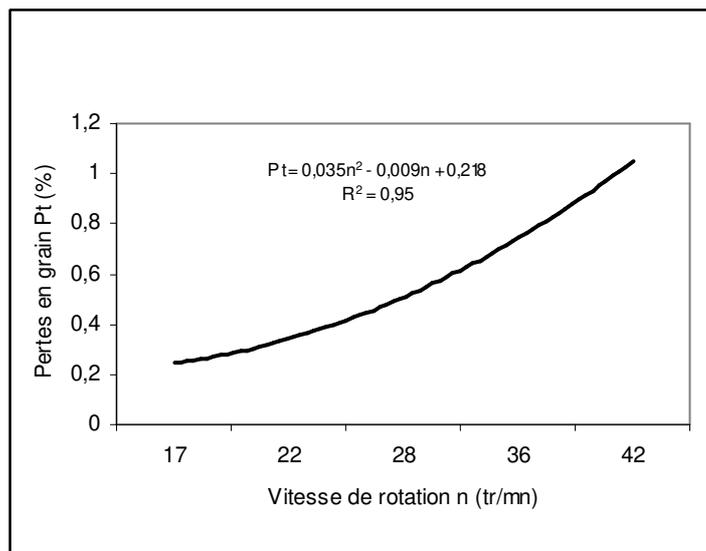
Tableau 25 : Vitesse de rotation du rabatteur en relation avec les pertes.

Vitesse du rabatteur		$\lambda$	Capacité de travail (Kg/s)	Pertes naturelles $g/m^2$	Pertes totales $g/m^2$	Hauteur de coupe (cm)	Pertes au tablier de coupe		
Tr/mn	m/s						$g/m^2$	Kg/ha	%
17	0,93	1,09	2,83	1,47	2,87	24,00	1,40	14,00	0,29
22	1,21	1,41	-	-	1,96	23,00	1,22	12,25	0,25
28	1,54	1,79	-	-	3,85	22,00	2,38	23,8	0,50
36	1,98	2,30	-	-	5,46	25,5	3,99	39,9	0,84
42	2,31	2,68	-	-	5,12	28,00	4,74	47,4	1

$$V_a = 0,86 \text{ m/s}$$

$$H_{\text{rab}} = 860 \text{ mm}$$

D'après ces résultats, nous constatons que les pertes naturelles moyennes sont faibles (14,7 Kg/ha) et que les pertes en grain de blé augmentent à mesure qu'augmente la vitesse de rotation du rabatteur mais restent acceptables dans la mesure où elles ne dépassent pas 1%. (Fig.34). Ceci s'explique par le choc que provoquent les lattes du rabatteur sur les épis de blé entraînant ainsi un égrenage plus important. La vitesse optimale de rotation du rabatteur varie entre 17 et 28 tr/mn, le coefficient cinématique  $\lambda$  variant entre 1 et 1,79.



**Figure 34 : Influence de la vitesse du rabatteur sur les pertes en grains.**

## 2.2. Influence de la vitesse d'avancement de la machine sur les pertes en grain de blé

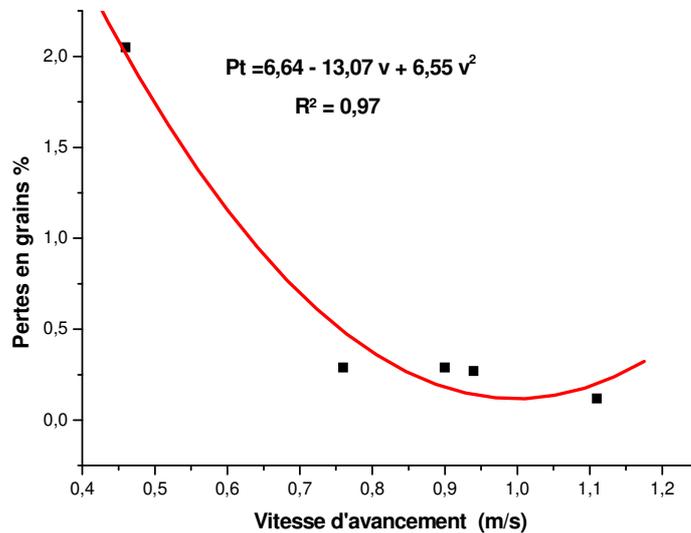
Les résultats des essais sont présentés dans le tableau 26.

Tableau 26 : Vitesse d'avancement de la machine en relation avec les pertes

Vitesse d'avancement (Va)	m/s	0,46	0,76	0,90	0,94	1,11
	km/h	1,67	2,76	3,27	3,39	4,00
Vitesse de rotation du rabatteur Vrab	tr/mn	17	17	17	20	28
	m/s	0,93	0,93	0,93	1,10	1,54
$\lambda$	-	2,02	1,21	1,03	1,17	1,39
Capacité de travail q	kg/s	1,50	2,44	2,93	3,06	3,62
Hauteur de coupe H	cm	24,60	22,10	22,00	26,70	30,40
Pertes naturelles	g/m <sup>2</sup>	1,47	1,47	1,47	1,47	1,47
Pertes totales	g/m <sup>2</sup>	11,23	2,87	2,86	2,75	2,03
Pertes au tablier de coupe	g/m <sup>2</sup>	9,76	1,40	1,39	1,28	0,56
	kg/ha	97,6	14,0	13,9	12,8	5,60
	%	2,05	0,29	0,29	0,27	0,12

Hrab = cte = 860mm

Les pertes en grain au tablier de coupe diminuent considérablement à mesure qu'augmente la vitesse d'avancement de la machine (Fig. 35) ; en effet avec l'augmentation de la vitesse, la machine est bien alimentée en produit de récolte et les épis coupés ne risquent pas de tomber au sol. Le coefficient cinématique  $\lambda$  doit varier entre 1,2 et 1,4.



**Figure 35 : Influence de la vitesse d'avancement de la machine sur les pertes en grains au tablier de coupe**

### 2.3. Influence de la hauteur de position du rabatteur sur les pertes

Les résultats des essais sont présentés dans le tableau 27.

Tableau 27 : Hauteur de position du rabatteur en relation avec les pertes.

Hauteur de position du rabatteur mm	Hauteur de coupe cm	Pertes naturelles g/m <sup>2</sup>	Pertes totales g/m <sup>2</sup>	Pertes au tablier de coupe		
				g/m <sup>2</sup>	Kg/ha	%
800	23,00	1,47	5,49	4,02	40,2	0,85
900	26,00	1,47	3,46	1,99	19,9	0,42
1000	25,00	1,47	2,48	1,01	10,1	0,21

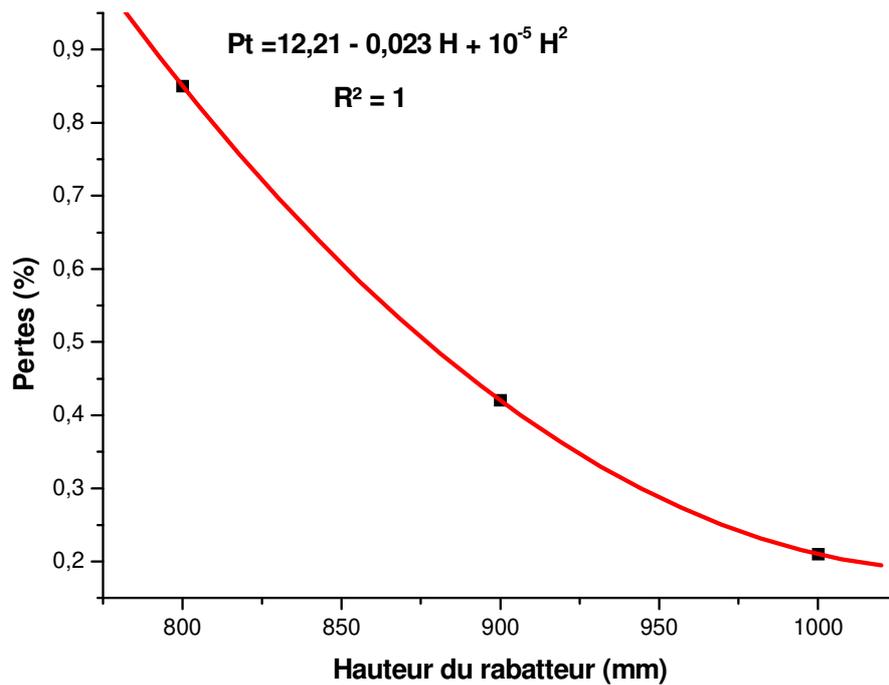
$$V_a = 0,86 \text{ m/s}$$

$$V_{rab} = 22 \text{ tr/mn}$$

$$\lambda = 1,41$$

On remarque que les pertes en grain au tablier de coupe sont inversement proportionnelles à la hauteur de position du rabatteur (Fig.36.), les pertes augmentent au fur et à mesure que la hauteur de position du rabatteur diminue. En effet à chaque fois que l'axe du rabatteur s'abaisse, le contact des lattes du rabatteur avec les plantes s'accroît et provoque un égrenage plus important.

Mais, il existe quand même des hauteurs qui minimisent les pertes [20]. Ces hauteurs devraient être choisies de telle façon que les lattes du rabatteur touchent les tiges au 2/3 de leur hauteur.



**Figure 36 : Influence de la position du rabatteur sur les pertes en grains**

#### **Conclusion :**

Pour minimiser les pertes au tablier de coupe il faut tenir compte à la fois des réglages de la vitesse de rotation du rabatteur, de la vitesse d'avancement de la machine et de la hauteur du rabatteur. Connaissant l'influence de chacun de ces paramètres sur les pertes, il est aisé de choisir rapidement les valeurs à retenir en relation avec les conditions de la récolte. Les valeurs optimales de  $\lambda$  qui donneraient des pertes inférieures à 1% devraient être comprises entre 1 et 1,4 et une hauteur de position du rabatteur de 1 m.

## TROISIEME EXPERIMENTATION

### ÉTUDE DE LA RELATION ENTRE LE DEBIT DE GRAIN ET LES PERTES SUR LES DEUX PRINCIPALES MACHINES CLASSIQUES UTILISEES EN ALGERIE.

Les performances des moissonneuses-batteuses dépendent de la conception de certains de leurs organes à savoir la largeur de coupe, le batteur et contre-batteur, la surface de nettoyage, la surface des secoueurs et des conditions de la récolte. Il se trouve justement que les moissonneuses-batteuses disponibles en Algérie sont relativement limitées du point de vue dimensionnement de leurs organes et donc répondent difficilement à une récolte de céréales où le volume de la paille est important ; la paille étant un élément très valorisé et très recherché par les agriculteurs. Dans ces conditions de récolte on constate des niveaux de pertes en grains qui dépassent souvent les 5% alors que le seuil admissible est de 2% du rendement. Les pertes dépendent essentiellement d'un débit optimal d'alimentation de la moissonneuse-batteuse en relation avec la densité de récolte et la vitesse d'alimentation de la machine.

L'objectif de ce travail est de déterminer les vitesses et les débits qui donnent le moins de pertes pour une moissonneuse-batteuse.

#### 1. Matériel et méthodes

Cette étude a été réalisée à la station expérimentale de Sétif relevant de l'Institut Technique des Grandes Cultures (ITGC). Après la mise en charge de la machine, on procède à un échantillonnage aléatoire avec trois répétitions sur un parcours de 100 m de moissonneuse-batteuse. Les prélèvements pour chaque essai concernant :

- Le rendement théoriques  $Re$  ( $g/m^2$ ) : Trois échantillons de  $1m^2$  de blé sur pied ont été prélevés pour être battus et pesés ;
- Les pertes à l'arrière de la machine  $Parr$  ( $g/m^2$ ) : ce sont des pertes dues aux organes de séparation et de nettoyage des grains. Pour déterminer ces pertes, on se sert de la bande en plastique placée à l'arrière de la moissonneuse-batteuse qui récupère le produit récolté. Les ôtons, les grains entiers et les grains cassés sont séparés du volume de paille accumulé sur la bande en plastique puis pesés pour exprimer  $Parr$  en  $g/m^2$  ;

- L'humidité relative des grains (%) : elle est mesurée sur des échantillons prélevés de la trémie ou des sacs de blé à l'aide d'un humidimètre portable ;
- La vitesse périphérique du batteur  $V$  (m/s) : elle est déduite à partir du régime du batteur ( $n$  en tr/mn)

$$V = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{60}$$

$D$  : diamètre du batteur en (m).

Les essais ont été réalisés en variant à chaque fois la vitesse d'avancement de la machine afin d'agir sur le débit d'alimentation. Les vitesses utilisées sont : 1,5 ; 2 ; 2,5 ; 3 ; 3,5 ; 4 ; 4,5 ; 5 ; 5,5 ; 6 Km/h.

- Vitesse du batteur : 1200 tr/mn ;
- L'écartement batteur/contre-batteur est maintenu constant : 16,7/6,5.
- La largeur de travail de la machine est de 4,20 m ;
- Le rendement de la parcelle de blé dur est : 20 q/ha ;
- L'humidité du grain est de 11%.

## 2. Résultats et discussion

Le tableau 28 présente les pertes en grain (Kg/ha et %) en relation avec les vitesses d'avancement et les débits des moissonneuses batteuses Claas et Saba.

Tableau 28 : Pertes en grains en fonction de la vitesse d'avancement

Vitesses		Km/h	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6
Débit		q/h	12,6	16,8	21	25,2	29,4	33,6	37,8	42	46,2	50,4
Pertes	Claas	Kg/ha	14	20	22	28	36	40	62	78	104	144
		%	0,70	1	1,10	1,40	1,80	2	3,10	3,90	5,20	7,20
	Saba	Kg/ha	16	24	34	40	52	64	82	100	136	160
		%	0,8	1,20	1,70	2	2,60	3,20	4,10	5	6,80	8

Une utilisation optimale des moissonneuses-batteuses permet la réduction des pertes en grains ; il faut trouver le débit optimal qui convient aux conditions de récolte et aux dimensions des organes de séparation et de secouage de la machine qui induit le moins de pertes possibles. La séparation des grains de la paille a lieu au niveau des organes de battage dans une proportion de 80 à 85%, le reste passe vers les organes de secouage où on récupère une partie des grains alors qu'une autre partie est éjectée avec la paille et donc perdue.

En observant la figure 37, qui présente l'influence de la vitesse de travail sur les pertes on constate que les pertes totales restent admissibles tant que la vitesse de déplacement ne dépasse pas 4 Km/h pour la moissonneuse-batteuse Claas et 3 km/h pour la moissonneuse batteuse Saba (moins de 40 kg/ha) pour un seuil admissible de 2%. Les pertes augmentent rapidement au-delà de ces vitesses et dépassent les 100 Kg pour les deux machines pour des vitesses supérieures à 5,5 Km/h.

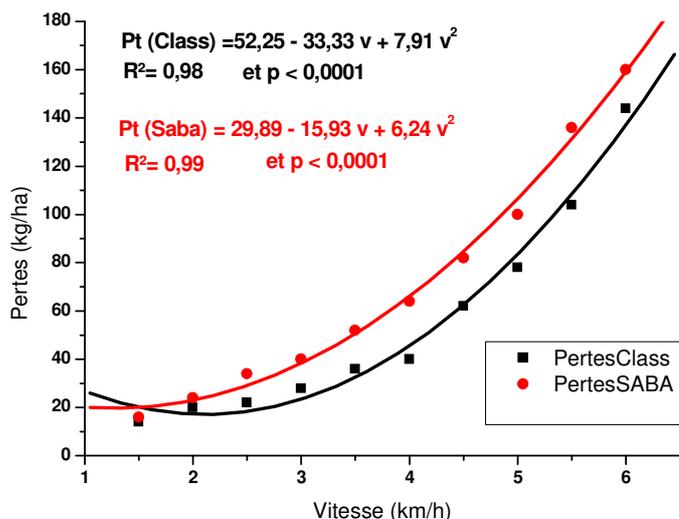


Figure 37 : Influence de la vitesse de travail sur les pertes en grains

On voit bien l'effet de la vitesse d'avancement des machines puisqu'on passe d'un niveau de pertes de 20 Kg/ha à plus de 140 Kg/ha, ce qui reflète l'importance de ce facteur pour le contrôle des pertes.

Les courbes de régression obtenues à partir des valeurs expérimentales pour les deux machines montrent que les pertes  $P_t$  varient en fonction des vitesses ( $v$ ) selon les relations suivantes :

$$\text{CLAAS Mercator: } P_t = 52,25 - 33,33 v + 7,91 v^2$$

$$\text{SABA: } P_t = 29,89 - 15,93 v + 6,24 v^2$$

Il est donc clair que pour des rendements horaires élevés correspondent des valeurs de Pertes assez importantes. La vitesse optimale de battage dépend des conditions de la récolte et de la capacité de la machine. En Algérie, la majorité des agriculteurs récoltent à des hauteurs de coupe assez faibles ce qui nous donne des volumes de pailles importants. Ces derniers surchargent les organes de battage et créent des bourrages si on dépasse le débit instantané optimal de la machine (Fig.38). Nos machines classiques actuelles possèdent des surfaces et des systèmes de séparation limités, elles ne peuvent admettre des débits élevés vu que les volumes engendrés entravent le bon fonctionnement des organes de la machine et augmentent les pertes. D'après les valeurs expérimentales obtenues on constate que les pertes  $P_t$  varient en fonction des débits instantanés ( $d$ ) des machines selon les relations suivantes :

$$\text{CLAAS Mercator : } P_t = 52,25 - 3,96 d + 0,11 d^2$$

$$\text{SABA: } P_t = 29,89 - 1,89 v + 0,09 d^2$$

Les pertes ne dépassent pas les 40 Kg/ha. (2% du rendement) pour des débits instantanés inférieurs à 34 q/h, ce qui correspond à une vitesse d'avancement de la moissonneuse-batteuse CLAAS de 4 Km/h. Dans ces conditions de travail et pour une telle machine, le débit peut représenter le débit approprié. Pour des débits supérieurs à 34 q/h les pertes augmentent rapidement et peuvent dépasser les 140 Kg/ha à un débit de 50 q/h ce qui correspond à une vitesse d'avancement de la machine de 6Km/h.

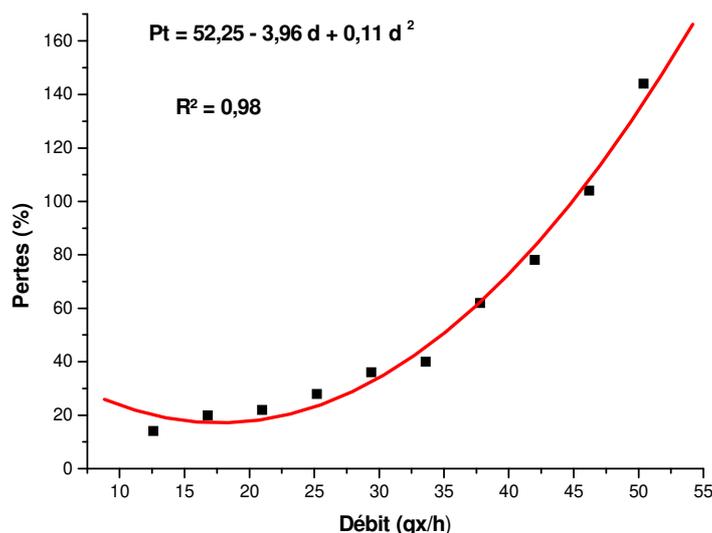


Figure 38 : Influence du débit du grain sur les pertes pour la moissonneuse batteuse CLASS

Pour la moissonneuse-batteuse SABA (Fig.39) le niveau de pertes est élevé comparativement au niveau de pertes de la CLAAS. En effet, pour le même débit instantané de 34 q/h, le niveau de pertes est de 64 Kg/ha. Pour une telle machine le débit approprié est de 25 q/h obtenu à une vitesse de 3 Km/h. pour des débits supérieurs les pertes augmentent rapidement et peuvent dépasser les 160 Kg/ha à un débit de 50 q/h.

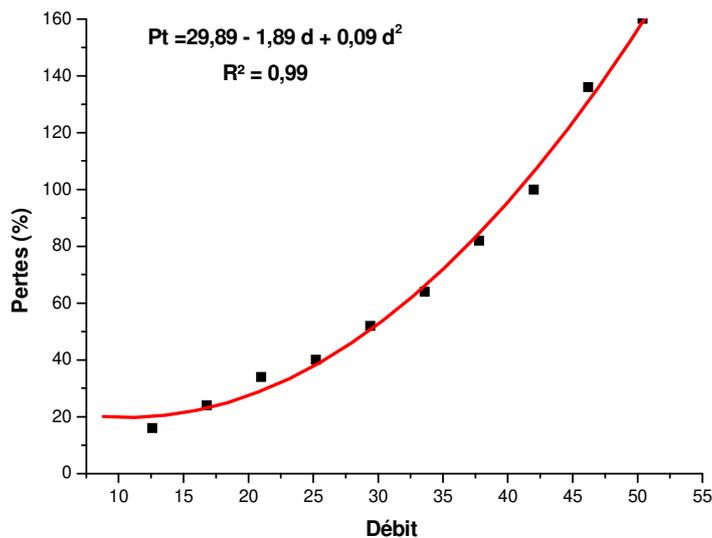


Figure 39: Influence du débit du grain sur les pertes pour la moissonneuse batteuse SABA

Il est à signaler que de nos jours il existe des machines dont les organes de battage et de nettoyage sont largement dimensionnés pour permettre des débits et des rendements horaires très élevés d'où l'intérêt de leur introduction dans les grandes exploitations du pays.

### Conclusion

Pour des débits instantanés de battage inférieurs à 34 q/h. pour la moissonneuse-batteuse CLAAS et 25 q/h pour la SABA, le niveau de pertes en grain demeure faible. Les pertes augmentent rapidement pour des débits élevés. Il est important de ne pas récolter à de faibles hauteurs de coupe afin de faciliter le travail des organes de la machine et de limiter les pertes. Dans des conditions de travail similaires, il est recommandé de ne pas dépasser les 3 à 4 Km/h.

## QUATRIEME EXPERIMENTATION

### INFLUENCE DE L'HUMIDITE DU GRAIN SUR LES CONDITIONS DE BATTAGE DU BLE

Le rendement réel d'une culture de blé dépend des paramètres de production mais aussi du niveau de pertes en grain engendré par la machine de récolte. Le choix de la récolte mécanisée permet certes un gain de temps, une diminution de la pénibilité des ouvriers, une bonne séparation du grain de l'épi, mais le grain obtenu doit aussi être propre, sain, et avec une bonne valeur marchande.

L'utilisation actuelle des moissonneuses-batteuses qui ne répond pas toujours aux conditions de récolte engendre des pertes en qualité et en quantité. Ces pertes sont en relation avec les réglages de la machine mais dépendent aussi de certains paramètres climatiques et physiologiques des céréales notamment l'humidité relative de l'air qui agit directement sur la teneur en eau du grain.

L'objectif de ce travail est de déterminer le taux de casse des grains de blé en fonction des vitesses de rotation du batteur et de différentes humidités du grain, ce qui permettra aussi de voir comment évoluent les pertes en grain par égrenage au niveau du tablier de coupe et les pertes sur andin que peut engendrer la ventilation arrière de la moissonneuse-batteuse.

#### 1. Matériel et Méthodes

Cette étude a été réalisée à la station expérimentale de l'Institut Technique des Grandes Cultures de Sétif. Après la mise en charge de la machine, on procède à un échantillonnage aléatoire avec trois répétitions sur un parcours de 100 m de la moissonneuse-batteuse.

Les prélèvements pour chaque essai concernent :

- Le rendement théoriques  $Re$  ( $g/m^2$ ) : Trois échantillons de  $1m^2$  de blé sur pied ont été prélevés pour être battus et pesés ;
- Les pertes au tablier de coupe  $P_{tc}$  ( $g/m^2$ ) : ce sont des pertes occasionnées par l'action du rabatteur sur les épis ; elles sont déterminées juste après le passage de la moissonneuse-batteuse qui déroule à l'arrière une bande de plastique qui récupère le produit récolté. Les pertes ( $P$ ) trouvées sous la bande de plastique sont diminuées des pertes naturelles ( $P_{nat}$ ) pour trouver les pertes au tablier de coupe :  $P_{tc} = P - P_{nat}$
- Les pertes à l'arrière de la machine  $P_{arr}$  ( $g/m^2$ ) : ce sont des pertes dues aux organes de séparation et de nettoyage des grains. Pour déterminer ces pertes, on se sert de la

bande en plastique placée à l'arrière de la moissonneuse-batteuse qui récupère le produit récolté. Les ôtons, les grains entiers et les grains cassés sont séparés du volume de paille accumulé sur la bande en plastique puis pesés pour exprimer  $P_{arr}$  en  $g/m^2$  ;

- Les pertes totales  $P_t$  : c'est la somme des pertes engendrées par le battage mécanique sans tenir compte des pertes naturelles.  $P_t = P_{arr} + P_{tc}$
- Les taux de casse (%) : nous prélevons directement de la trémie de stockage ou des sacs de blé des échantillons de 100 grammes de grains à partir desquels on détermine le taux de casse. Les prélèvements se font après chaque passage de la moissonneuse-batteuse sur la bande d'essai à raison de 3 répétitions.
- L'humidité relative des grains (%) : elle est mesurée sur des échantillons prélevés de la trémie ou des sacs de blé à l'aide d'un humidimètre portable ;
- La vitesse périphérique du batteur  $V$  (m/s) : elle est déduite à partir du régime du batteur ( $n$  en tr/mn)

$$V = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{60}$$

$D$  : diamètre du batteur en (m).

Les essais ont été réalisés avec une vitesse moyenne de travail de la moissonneuse-batteuse de 1 m/s et un régime du rabatteur de 1,35 m/s ( $\lambda = 1,21$ ) sur du blé dur (variété Mexicalli).

La hauteur de coupe est faible, elle est de 10 cm, aucun réglage n'a été modifié durant les essais. Le rendement était de 20 Kg/ha.

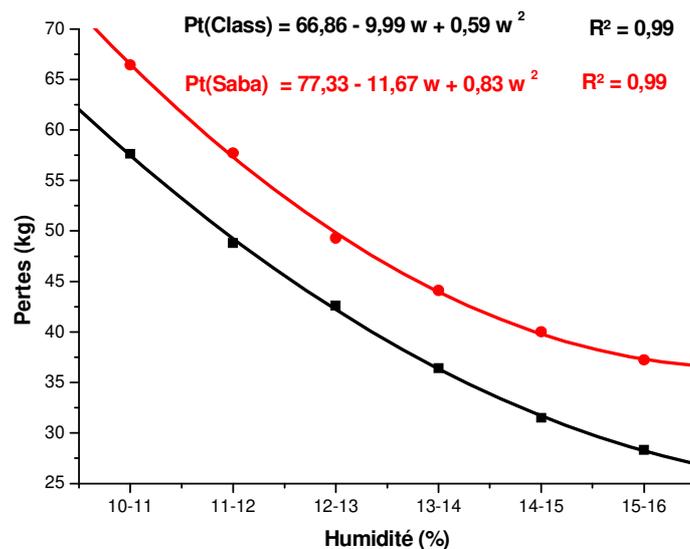
## 2. Résultats et discussion

Le tableau 29 présente les pertes en kg/ha au tablier de coupe en fonction de l'humidité pour les moissonneuses batteuses Claas et Saba.

Tableau 29 : Pertes  $P_t$  (kg/ha et %) au tablier de coupe en fonction de l'humidité.

Moissonneuses- batteuses	Humidités %					
	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16
CLAAS (Kg/ha)	57,6	48,8	42,6	36,4	31,5	28,3
(%)	2,88	2,44	2,13	1,82	1,57	1,41
SABA (Kg/ha)	66,4	57,7	49,3	44,1	40	37,2
(%)	3,32	2,88	2,46	2,2	2	1,86

Dans ces conditions de travail, on a constaté que le minimum des pertes au tablier de coupe est obtenu à une humidité ( $w$ ) du grain de 16%. La figure 40 représente les courbes de régression des pertes ( $P_t$ ) en fonction de l'humidité du grain ( $w$ ) obtenues à partir des valeurs expérimentales ; nous avons enregistré 28 Kg/ha soit 1,4% du rendement pour la moissonneuse-batteuse CLAAS et 37 Kg/ha (1,8% du rendement) pour la moissonneuse-batteuse Saba. Généralement, l'intervalle d'humidité 15-18% caractérise le début de la récolte des céréales. Au-dessous du seuil de 12% d'humidité du grain, les pertes augmentent de manière significative et peuvent aller jusqu'à 3% ; ceci est une conséquence directe de la sensibilité à l'égrenage pour de faibles humidités. Ces résultats sont confirmés par les chercheurs de l'ITCF [32] qui signalent une perte importante quand le grain présente une faible humidité. Il est fortement recommandé de travailler durant les périodes où l'humidité du grain est supérieure à 12% même s'il faudra faire un effort dans la ventilation des silos de stockage.



**Figure 40 : Influence de l'humidité du grain sur les pertes au tablier de coupe pour les deux machines**

Dans les mêmes conditions d'essais, nous avons constaté une diminution du taux de casse en fonction de l'humidité du grain. A partir des valeurs expérimentales enregistrées, les courbes de régression du taux de casse ( $T_c$ ) en fonction de l'humidité du grain ( $w$ ) obtenues sont présentées sur la figure 42. Le tableau 30 présente le taux de casse des grains en fonction de l'humidité pour les deux machines.

Tableau 30 : Taux de casse des grains  $T_c$  (%) en fonction de l'humidité pour les deux Machines (Claas et Saba).

Humidité	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16
tx casse Claas	8,5%	6,8%	5,1%	2,5%	1,6%	1,1%
Tx casse Saba	9,3%	7,5%	6,3%	3,2%	1,9%	1,3%

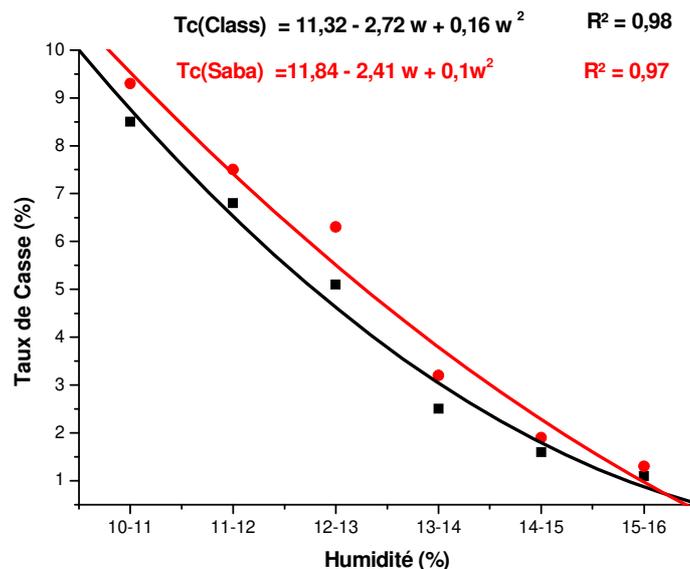


Figure 41 : Influence de l'humidité du grain sur le taux de casse pour les deux machines

Les intervalles d'humidité du grain supérieurs à l'intervalle 14-15%, donnent une moyenne des taux de casse acceptable, celle-ci est inférieure à 2%. Une humidité du grain au dessous de 13% donne des taux de casse relativement important qui peuvent aller jusqu'à 8 à 9% pour l'intervalle 10-11%. Une humidité faible confère au grain une fragilité accrue et engendre des casses importantes. Malheureusement, nos agriculteurs récoltent souvent à des taux d'humidité faibles, ils ne respectent pas les délais de récolte.

En maintenant les réglages de battage constants tout au long de la journée caractérisée par une variation relative de l'humidité du grain, nous avons constaté que les pertes en grain sur andain (à l'arrière de la machine) sont en relation avec la valeur des taux de casse, les résultats enregistrés sont consignés dans le tableau 31 pour la moissonneuse-batteuse CLAAS

Tableau 31 : Pertes en grains  $P_t$  (Kg/ha et %) sur andain en fonction du taux de casse.

Taux de casse	8,5%	6,8%	5,1%	2,5%	1,6%	1,1%
Pertes (Kg/ha)	40,1	32,3	25,8	18,5	15,4	12,3
Pertes (%)	2	1,6	1,29	0,92	0,77	0,61

et dans le tableau 32 pour la moissonneuse-batteuse SABA .

Tableau 32: pertes en grains sur andain en fonction de l'humidité.

Taux de casse	9,3%	7,5%	6,3%	2,9%	1,9%	1,3%
Pertes (Kg/ha)	45,3	38,3	32,5	25,1	22,3	17,5
Pertes (%)	2,2	1,91	1,62	1,25	1,11	0,87

Pour un taux de casse moyen supérieur à 8%, les pertes sur andain dépassent les 40 Kg/ha. pour les deux machines alors que pour un taux moyen de 2,5% les pertes sont de l'ordre de 18,5 Kg pour la CLAAS et pour un taux de 2,9% les pertes sont de l'ordre de 25,1 Kg pour la SABA. Ces pertes sont liées au flux initial de nettoyage qui a été ajusté pour une humidité du grain élevée et pour un taux de casse faible. Ces conditions engendrent moins de projection de particules de grains cassés à l'arrière de la moissonneuse-batteuse.

Au cours de la journée de travail et à mesure que l'humidité de l'air diminue, il y a une réduction de la teneur en eau du grain ce qui entraîne plus de risque de casse en absence d'adaptation des conditions de battage.

Nous avons procédé donc à des ajustements de la vitesse du batteur en fonction de l'humidité du grain pour étudier l'influence de ce paramètre sur la réduction du taux de casse ; les résultats obtenus sont présentés dans le tableau 33 pour la moissonneuse batteuse Claas et dans le tableau 34 pour la moissonneuse batteuse Saba.

Tableau 33 : influence de la vitesse du batteur sur l'évolution du taux de casse (Claas)

Humidités (%)	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16
Vitesse du batteur (m/s)						
21	3,6	2,9	2,3	1,8	1,1	0,8
24	4,4	3,5	2,8	1,8	1,3	0,9
26	5,2	4,7	3,1	2,1	1,5	0,9
28	7,3	6,3	4,0	2,4	1,5	1
30	8,6	7,1	5,3	2,6	1,7	1,3

Tableau 34 : influence de la vitesse du batteur sur l'évolution du taux de casse (Saba)

Humidités (%)	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16
Vitesses du batteur (m/s)						
21	5,3	4,5	4,1	3,9	3,7	3,1
24	6,4	5,3	4,7	3,9	3,5	2,8
26	7,1	6,5	5,5	4,2	3,3	2,5
28	7,9	7,1	6,1	4,2	3,3	2,5
30	9,5	8,4	6,5	4,3	3,1	2,6

Les graphes des figures 42 et 43 montrent que la prise en considération de la variation journalière de l'humidité du grain peut résoudre le problème des pertes dues au battage mécanique du blé. L'adaptation régulière de la vitesse du batteur en relation avec l'humidité du grain a abouti à une réduction du taux de casse. Le taux de casse est la conséquence directe d'un excès de battage et de la fragilité du grain.

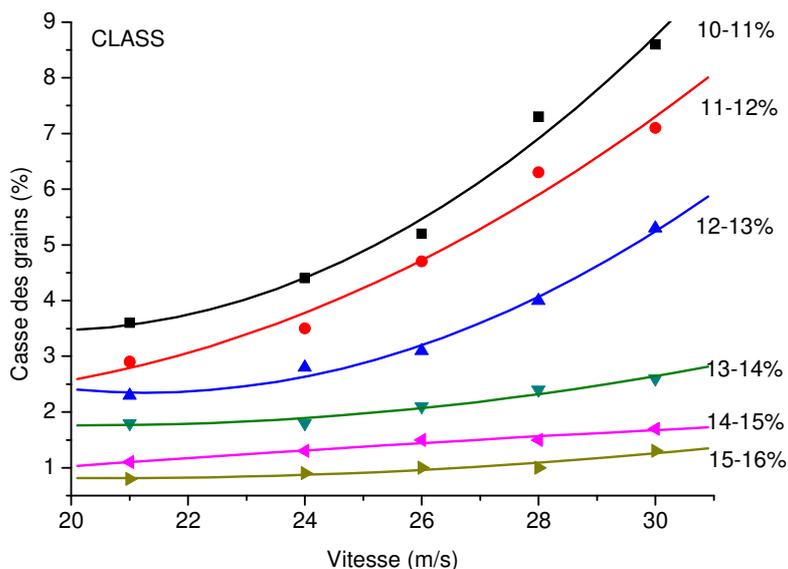


Figure 42 : Influence de la vitesse du batteur sur la casse des grains pour différentes humidités (CLASS)

Les équations obtenues sont de la forme  $y = a + bx + cx^2$  (type linéaire polynomiale du second degré). Ces équations sont représentées comme suit:

- Humidité 10-11%  $Tc = 22,39 - 1,92 v + 0,04 v^2$   $R^2 = 0,98$
- Humidité 11-12%  $Tc = 10,20 - 0,95 v + 0,02 v^2$   $R^2 = 0,97$
- Humidité 12-13%  $Tc = 19,47 - 1,61 v + 0,03 v^2$   $R^2 = 0,99$
- Humidité 13-14 %  $Tc = 5,55 - 0,03 v + 0,009 v^2$   $R^2 = 0,96$
- Humidité 14-15 %  $Tc = -0,91 + 0,11 v - 0,001 v^2$   $R^2 = 0,96$
- Humidité 15-16 %  $Tc = 2,96 - 0,20 v + 0,005 v^2$   $R^2 = 0,91$

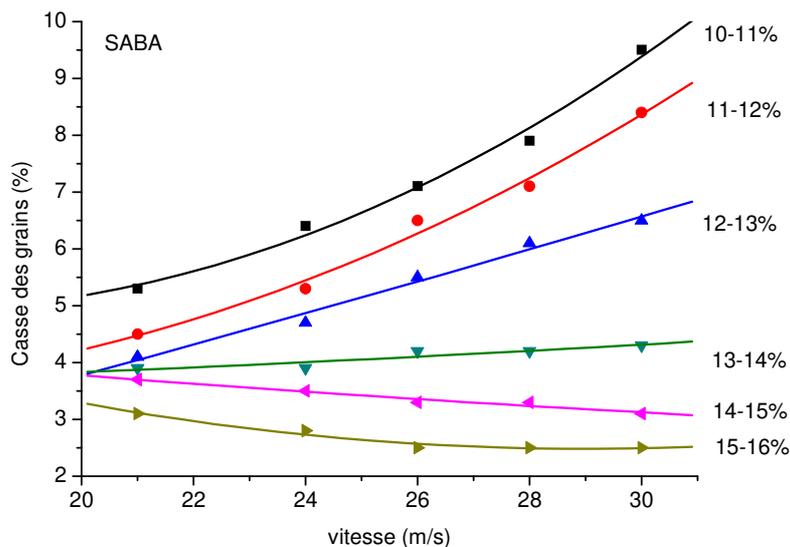


Figure 43 : Influence de la vitesse du batteur sur la casse des grains pour différentes humidités (SABA)

Les équations obtenues sont de la forme  $y = a + bx + cx^2$  (type linéaire polynomiale du second degré). Ces équations sont données dans le tableau suivant:

- Humidité 10-11%  $Tc = 12,18 - 0,86 v + 0,02 v^2$   $R^2 = 0,99$
- Humidité 11-12 %  $Tc = 6,95 - 0,50 v + 0,018 v^2$   $R^2 = 0,98$
- Humidité 12-13%  $Tc = - 1,12 + 0,22 v + 0,001 v^2$   $R^2 = 0,98$
- Humidité 13-14 %  $Tc = 3,36 + 0,006 v + 8,38 v^2$   $R^2 = 0,84$
- Humidité 14-15 %  $Tc = 5,71 - 0,11 v + 0,001 v^2$   $R^2 = 0,96$
- Humidité 15-16 %  $Tc = 10,88 - 0,57 v + 0,01 v^2$   $R^2 = 0,96$

Dans ces conditions d'essai, on peut travailler à des vitesses du batteur et à des intervalles d'humidité qui permettent un taux de casse inférieur à 2%. Ce faible taux de casse a engendré moins de pertes à l'arrière de la moissonneuse-batteuse. Il est plus intéressant de travailler à des vitesses plus élevées pour favoriser l'alimentation de la machine. Les vitesses de 1100 tr/mn (26m/s) à 1200 tr/mn (28 m/s) sont à recommander à des taux d'humidité du grain supérieur à 13%. Là aussi, on constate que la moissonneuse-batteuse CLAAS est plus performante que la Saba.

**Conclusion**

Le battage à une humidité du grain supérieure à 13% a engendré moins de perte en quantité et en qualité que le battage à une humidité inférieure à 12%. En absence d'une adaptation continue des vitesses du batteur en fonction de la variation journalière de l'humidité du grain, on peut atteindre des taux de casse élevés, supérieurs à 8% et des pertes sur andin considérables. Les pertes sur andin sont proportionnelles à la qualité du battage.

## **CINQUIEME EXPERIMENTATION ETUDE DES PERTES EN GRAIN SUR LA MOISSONNEUSE BATTEUSE « AWIAL- FLOW » DE LA FIRME « CASE IH ».**

La maîtrise du fonctionnement des machines utilisée en agriculture et leur adaptation sont l'atout majeur pour une bonne réussite des travaux agricoles. Souvent, les conseils donnés par les constructeurs quant aux réglages des différents éléments des machines s'avèrent non adéquats aux conditions réelles d'utilisation [3–8]. Ceci est d'autant plus vrai dans les zones sahariennes où les conditions, notamment climatiques, sont très différentes de celles du nord du pays.

L'intérêt de ce travail réside dans l'adaptation d'une moissonneuse-batteuse nouvellement utilisée en Algérie << l'Axial-Flow >>, machine non conventionnelle, aux conditions souvent très sèches du grain à la récolte.

Nous avons suivi l'évolution de cette machine sur plusieurs campagnes de moissons battages dans le souci de l'adapter à chaque fois aux exigences de la culture de blé dur et de blé tendre afin de cerner les réglages convenables.

L'objectif principal du travail est d'arriver à limiter les pertes aux normes internationales en proposant des couples de vitesses adéquats, entre l'avancement et le batteur, sachant que les pertes à la récolte sont élevées et approchent souvent les 10 %.

### **1. MATERIEL ET METHODES**

Les essais se sont déroulés au niveau d'une exploitation agricole dans la région de Ouargla. Cette exploitation s'étale sur une superficie de 912 hectares en irrigué dont 30% des eaux possèdent un taux de salinité supérieur à 5g/l; l'irrigation se fait par des centres pivots de 52 hectares chacun.

#### **1. 1. Matériel**

##### **1.1.1. Matériel de récolte**

La machine utilisée lors de cette récolte de céréales est la moissonneuse-batteuse à battage axial de marque << Case international 1660 >> dont les caractéristiques principales sont citées plus haut.

##### **1.1.2. Matériel végétal**

Deux variétés de blé ont été récoltées; il s'agit du blé dur (Mexicali) et du blé tendre (Ccinia) sur deux parcelles de deux hectares chacune.

## 1.2. Méthodes

Pour la fiabilité des résultats et afin d'éviter l'effet de bordure ainsi que l'hétérogénéité du rendement due à l'irrigation, les prélèvements des échantillons sont pris, selon les parcours, soit au centre de la parcelle, soit à la périphérie ; cinq parcours ont été réalisés par parcelle.

Après la mise en charge de la machine, sur une distance de 100m, une bâche se déroule pour l'évaluation des pertes; durant le même temps, un opérateur prélève un échantillon de grain à la sortie de la vis de remplissage de la trémie pour analyser la qualité du travail.

Pour diminuer les pertes, et conformément aux travaux de [4], la hauteur de coupe a été limitée par le réglage du tablier de coupe.

Les combinaisons de réglage réalisées lors des essais sont données dans le tableau 35. La parcelle 1 concerne le blé dur, et la parcelle 2 concerne le blé tendre.

**Tableau35:** Combinaisons des réglages, par parcelle, réalisés lors des essais.

Parcours	Vitesse d'avancements (Va) en Km / h		Vitesse de rotation du batteur (Vb) en tour / mn					
	Parcelle N° 1	Parcelle N° 2	Vb 1	Vb 2	Vb 3	Vb 4	Vb 5	Vb 6
			700	800	900	1000	1100	1200
A	Va 1 = 1.5	Va 1 = 2.2	+	+				
B	Va 2 = 2.6	Va 2 = 3.0		+	+			
C	Va 3 = 3.2	Va 3 = 3.6			+	+		
D	Va 4 = 4.3	Va 4 = 4.5				+	+	
E	Va 5 = 5.2	Va 5 = 5.15					+	+

Les vitesses d'avancement de la machine et de rotation du batteur sont choisies selon l'état de la culture au moment de la récolte [31–34]. Plus cette dernière est importante et dense plus la vitesse d'avancement sera réduite et il faut trouver la vitesse convenable de rotation du batteur pour éviter le bourrage et limiter la casse du grain. Il est par conséquent nécessaire de tester plusieurs couples de vitesses possibles Va et Vb.

A la suite des résultats obtenus, nous avons appliqué la méthode de la similitude et de l'analyse dimensionnelle [27], outil mathématique très simple, qui nous a permis de mettre en évidence les combinaisons de vitesses optimales, c'est à dire des combinaisons qui limitent

les pertes et la qualité de travail aux normes internationales [42] sans avoir à réaliser une multitude d'essais. Pour expliquer brièvement la méthode, on considère que :

- ✓ Le symbole  $m$  représente la masse du grain ramassée lors de l'essai (Kg).
- ✓ Le symbole  $P$  représente la masse d'un paramètre étudié (pertes en grain, casses ou impuretés) qui se produit durant l'essai (Kg).
- ✓ Le symbole  $t$  représente le temps de réalisation de l'essai (s).
- ✓ Les symboles  $V_a$  et  $V_b$  représentent les vitesses d'avancement de la machine et les vitesses de rotation du batteur dont les variations influent directement sur le niveau de perte ( $P$ ) et de qualité de travail. Ainsi on peut écrire :

$$P = f(V_a, V_b, m, t).$$

D'après les règles de l'analyse dimensionnelle cette équation peut s'écrire comme suit :

$$P = C \cdot V_a^a \cdot V_b^b \cdot m^c \cdot t^d \quad \text{où } C = \text{constante} \quad (1)$$

Le bilan des puissances est le suivant :

$$(\text{Kg}) = (\text{m/s})^a \cdot (\text{m/s})^b \cdot (\text{Kg})^c \cdot (\text{s})^d$$

L'analyse dimensionnelle:

$$\text{Pour les (Kg) on a :} \quad 1 = c$$

$$\text{Pour les (m/s) on a :} \quad 0 = a + b \quad \text{donc } b = -a$$

$$\text{Pour les (s) on a :} \quad 0 = -a - b + d \quad \text{donc } b - b + d = 0 \quad \text{et } d = 0$$

L'équation (1) aura la forme :

$$P = C \cdot V_a^a \cdot V_b^{-a} \cdot m \quad \text{et donc } P/m = C (V_a/V_b)^a$$

Les expressions  $P/m$  et  $V_a/V_b$  sont adimensionnels.

Les constantes  $C$  et  $a$  sont déterminées par la méthode de régression linéaire par les moindres carrés.

La fonction  $P/m = C (V_a/V_b)$  est une équation de la forme  $Y = AX$  où :

$Y$  = le résultat d'un paramètre étudié

$A$  = une constante

$X$  = la valeur du rapport des deux facteurs étudiés qui ont une grande influence sur les pertes en grain.

## 2. Résultats et discussion

Le tableau 36 présente quelques paramètres importants concernant les cultures de blé dur et de blé tendre.

Tableau36 : Etat du blé au moment de la récolte.

Paramètres	Blé dur (Mexicali)	Blé tendre (C. Cinia)
Rendement (qx / ha)	35.5	20
Rapport massique paille / grain	1.6	1.7
Poids de mille grains (g)	38	30
Hauteur moyenne des tiges (cm)	53.2	42
Humidité du grain (%)	12	10
Humidité de la paille (%)	11	9

On constate que le taux d'humidité est faible et que la température journalière à l'époque de la récolte dépassait souvent les 30°C. La vitesse du batteur est fixée à 800 tr/mn.

Dans les tableaux 37 et 38 sont représentées les moyennes retenues pour les paramètres contrôlés à savoir le taux de perte, le taux de casse et le taux d'impureté. Ces paramètres sont importants pour la connaissance des pertes à la récolte mais aussi pour l'estimation de la qualité et la détermination du prix du produit obtenu.

**Tableau 37** : Résultats expérimentaux des paramètres contrôlés de la parcelle 1.

Parcours	Facteurs variables		Paramètres contrôlés			
	Combinaisons de vitesses		Nombre d'échantillons	Taux de perte (%)	Taux de casse (%)	Taux d'impureté (%)
Vitesses d'avancement (Va)	Vitesse de rotation (Vb)					
A	Va 1	Vb 1	5	0.23	1.8	4.0
	Va 1	Vb 2	5	0.31	1.4	3.2
B	Va 2	Vb 2	5	0.50	1.1	3.0
	Va 2	Vb 3	5	0.47	1.1	3.0
C	Va 3	Vb 3	5	1.0	0.9	2.0
	Va 3	Vb 4	5	1.1	0.6	1.0
D	Va 4	Vb 4	5	0.98	0.8	0.8
	Va 4	Vb 5	5	0.85	0.8	0.8
E	Va 5	Vb 5	5	0.85	0.7	0.7
	Va 5	Vb 6	5	1.18	0.7	0.8

Tableau 38 : Résultats expérimentaux des paramètres contrôlés de la parcelle 2.

Parcours	Facteurs variables		Paramètres contrôlés			
	Combinaisons de vitesses		Nombre d'échantillons	Taux de perte (%)	Taux de casse (%)	Taux d'impureté (%)
	Vitesses d'avancement (Va)	Vitesse de rotation (Vb)				
<b>A</b>	Va 1	Vb 1	5	2.8	2.1	7.1
	Va 1	Vb 2	5	2.3	3.7	5.3
<b>B</b>	Va 2	Vb 2	5	1.7	2.1	4.8
	Va 2	Vb 3	5	1.2	2.0	3.7
<b>C</b>	Va 3	Vb 3	5	1.2	1.7	2.6
	Va 3	Vb 4	5	0.8	1.6	2.2
<b>D</b>	Va 4	Vb 4	5	0.9	1.0	2.0
	Va 4	Vb 5	5	2.0	0.8	0.9
<b>E</b>	Va 5	Vb 5	5	0.9	0.3	3.0
	Va 5	Vb 6	5	1.0	0.2	3.0

Les résultats de la régression présentés dans les tableaux 39 et 40 donnent les équations obtenues pour chaque paramètre étudié et pour les deux parcelles. Les coefficients de corrélations sont très corrects pour la parcelle 1 et assez corrects pour la parcelle 2. Cette dernière a été récoltée un peu plus tard, les céréales étaient plus sensibles à l'action mécanique de la machine.

Tableau 39 : Equations des paramètres étudiés, parcelle 1.

Paramètres étudiés	Equations	Coefficients de corrélations
Pertes	$P/m = 0.20 (Va/Vb)^{-1.65}$	$r^2 = 0.53$
Casses	$P/m = 0.29 (Va/Vb)^{-0.92}$	$r^2 = 0.66$
Impureté	$P/m = 0.13 (Va/Vb)^{-1.92}$	$r^2 = 0.71$

Tableau 40 : Equations des paramètres étudiés, parcelle 2.

Paramètres étudiés	Equations	Coefficients de corrélations
Pertes	$P/m = 0.21 (Va/Vb)^{-1.65}$	$r^2 = 0.45$
Casses	$P/m = 0.01 (Va/Vb)^{-4.18}$	$r^2 = 0.64$
Impureté	$P/m = 0.29 (Va/Vb)^{-2.04}$	$r^2 = 0.37$

Le nombre de mesures effectuées est de 10, la variable indépendante étant unique le degré de liberté (DDL) dans ce cas est de  $10-1=9$ .

## Discussion

Comparativement aux normes internationales dont les limites admissibles de pertes et de qualité de travail ne doivent pas dépasser 1 %, surtout pour les récoltes destinées à la semence, on peut conclure que pour la récolte de blé dur, seulement trois combinaisons de vitesses, entre les vitesses d'avancement et les vitesses du rabatteur ( $V_a / V_b$ ) sont à retenir à savoir :  $V_{a4} / V_{b4}$ ,  $V_{a4} / V_{b5}$ ,  $V_{a5} / V_{b5}$ . Pour la récolte de blé tendre seule la combinaison  $V_{a4} / V_{b4}$  peut être retenue.

Le rapport  $V_a/V_b$  nous renseigne sur le comportement des pertes et de la qualité de travail, tenant compte de l'action simultanée des deux paramètres du rapport, ce qui donne une image assez proche des conditions réelles de battage de la machine.

L'influence des deux paramètres pris séparément a été étudiée par [10], par contre leur action simultanée a été rarement abordée d'où l'originalité de l'expérimentation que nous avons réalisée.

Sur la base des résultats de la régression linéaire nous avons défini les rapports  $V_a$  et  $V_b$  en adéquation avec les pertes admissibles.

Concernant le blé dur, pour l'obtention d'un taux de perte inférieur à 1 % par une moissonneuse-batteuse "Axial-Flow" dans des conditions de travail similaire, nous devons effectuer les réglages présentés dans le tableau 41.

**Tableau 41** : Combinaisons de réglages pour des pertes admissibles.

Vitesse de la machine $V_a$		Vitesse de rotation du batteur $V_b$	
Km/h	m/s	tr/mn	m/s
2.95	0.82	700	22.34
3.38	0.94	800	22.53
3.81	1.06	900	28.73
4.24	1.18	1000	31.92
4.64	1.29	1100	35.11
5.07	1.41	1200	38.10

Ces combinaisons ont été obtenues à partir d'un rapport  $V_a/V_b = 0.037$  (zone de moindre pertes) ; connaissant la valeur de  $V_b$  on déduit celle de  $V_a$ .

Pour la qualité de travail, les réglages optimaux sont donnés dans le tableau 42. Ces combinaisons sont obtenues à partir d'un rapport  $V_a/V_b = 0.030$ .

**Tableau 42 :** Combinaisons de réglages pour une qualité de travail optimale.

Vitesse de la machine $V_a$		Vitesse de rotation du batteur $V_b$	
Km/h	m/s	tr/mn	m/s
2.41	0.67	700	22.34
2.73	0.76	800	25.53
3.09	0.86	900	28.73
3.42	0.95	1000	31.92
3.78	1.05	1100	35.11
4.10	1.14	1200	38.30

Concernant les impuretés les exigences agro techniques et économiques exigent un seuil de taux d'impuretés tolérable de 1% ; ceci correspond à un rapport  $V_a/V_b = 0.030$  qui est le même pour le cas de la casse et donc on opte pour les mêmes combinaisons de réglage.

Concernant le blé tendre, pour obtenir un taux de pertes admissibles, les réglages préconisés sont donnés dans le tableau 43 pour une valeur du rapport  $V_a/V_b = 0.039$ .

**Tableau 43 :** Combinaisons de réglages pour des pertes admissibles.

Vitesse de la machine $V_a$		Vitesse de rotation du batteur $V_b$	
Km/h	m/s	tr/mn	m/s
3.13	0.87	700	22.34
3.58	0.99	800	25.53
4.03	1.12	900	28.73
4.48	1.24	1000	31.92
4.92	1.36	1100	35.11
5.37	1.49	1200	38.10

On remarque que pour une variation de la vitesse de rotation du batteur de 700 à 1200 tr/mn, la vitesse d'avancement doit varier entre 3 et 5 Km/h.

Pour la qualité de travail (taux de casse et taux d'impureté) et pour un grain destiné à la semence le seuil de tolérance correspond à un rapport  $V_a/V_b$  égal à 0.039 et donc nous optons pour les résultats du tableau 43.

Si le grain est destiné à la consommation le taux de casse doit être égal ou inférieur à 2%, les réglages optimaux sont donnés dans le tableau 44. Ces combinaisons sont obtenues à partir d'un rapport  $V_a/V_b = 0.028$ .

Tableau 44 : Combinaisons de réglages pour une qualité de travail optimale.

Vitesse de la machine $V_a$		Vitesse de rotation du batteur $V_b$	
Km/h	m/s	tr/mn	m/s
2.25	0.62	700	22.34
2.57	0.71	800	22.53
2.89	0.80	900	28.73
3.21	0.89	1000	31.92
3.53	0.98	1100	35.11
3.86	1.07	1200	38.10

Il est important de mentionner que les combinaisons de réglages sont spécifiques à la culture à récolter. Malheureusement, en Algérie, on ne tient souvent pas compte de ces aspects au moment de la récolte des blés et on ne fait aucune distinction entre les parcelles de blé dur, blé tendre et orge ce qui augmente les pertes à la récolte.

La méthode de la similitude et l'analyse dimensionnelle nous a permis de mettre en évidence le comportement des paramètres étudiés (perte, casse et impureté) par rapport à l'effet simultanée de deux facteurs variables : la vitesse d'avancement de la machine et la vitesse de rotation du batteur et de déterminer pour chaque vitesse d'avancement de la machine une vitesse de rotation du batteur.

## Conclusion

Dans l'ensemble, on peut dire que la plupart des auteurs dénoncent la complexité du problème de pertes en grains à la récolte mécanisée.

La capacité réelle de la moissonneuse-batteuse étant étroitement liée à la vitesse d'avancement et à la vitesse de rotation du batteur, plus le volume de la matière absorbée par la machine est importante plus le risque de perte est important.

La méthode de la similitude et de l'analyse dimensionnelle nous a permis de limiter le nombre d'essai et de connaître les combinaisons de réglages qui limitent les pertes et adaptent la qualité de travail aux normes internationales.

Cette machine convient mieux aux conditions de récoltes de rendements élevés. Ces résultats confirment ceux de beaucoup d'auteurs, qui montrent que dans des conditions comparables, la moissonneuse-batteuse AXIAL-FLOW permet de réaliser moins de pertes que la moissonneuse-batteuse à flux tangentiel.

# **Partie Economique**

## **PARTIE ECONOMIQUE**

### **DETERMINATION DU COUT D'UTILISATION DES MOISSONNEUSES-BATTEUSES**

Cette partie tente de rassembler les éléments couramment utilisés pour cerner les aspects économiques liés à l'utilisation des moissonneuses-batteuses. Il n'a pas la prétention de répondre aux problèmes multiples et complexes relatifs à la conduite des exploitations agricoles : maîtrise des charges, choix des équipements en fonction des systèmes de culture, des surfaces cultivées et des disponibilités de main d'œuvre. Des études effectuées par certains organismes permettent de recueillir des éléments qui constituent des outils d'aide à la décision.

#### **1. L'étude du coût d'utilisation des moissonneuses-batteuses**

L'étude du coût d'utilisation des moissonneuses-batteuses est importante pour l'agriculteur en raison de la part importante qu'elle représente dans les charges de production. Précisons que la moissonneuse-batteuse est une des machines les plus coûteuses que l'on puisse voir travailler dans les exploitations.

La connaissance du coût d'utilisation d'une machine neuve ou d'occasion, permet de comparer différents modes d'utilisation et de choisir entre :

- L'acquisition d'une machine propre à l'exploitation ;
- L'acquisition d'une machine en copropriétés avec un ou plusieurs agriculteurs ;
- La création ou la participation à une coopérative d'utilisation en commun du matériel agricole ;
- L'appel à un entrepreneur spécialisé dans la récolte...

Précisons toutefois que la connaissance du coût ne permet pas à elle seule de prendre telle ou telle décision. L'agriculteur peut être conduit à préférer la propriété qui assure la disponibilité du matériel aux moments favorables ou au contraire, l'intervention du matériel extérieur qui peut résoudre les problèmes de main d'œuvre en période de pointe.

L'étude du coût d'utilisation de la moissonneuse-batteuse est plus compliquée que celle du tracteur car, à son coût propre, s'ajoutent des dépenses induites par le chantier de récolte :

- La moissonneuse-batteuse s'intègre dans un chantier qui comprend également le transport des grains.
- Le coût horaire d'une machine donnée, son coût à l'hectare ou au quintal sont liés et assez faciles à calculer ; cependant son débit varie en fonction des conditions de travail ; récolte bien dressée ou versée, quantité de paille récoltée pour les céréales...

La détermination du coût d'utilisation d'une moissonneuse-batteuse nécessite la prise en compte de deux catégories de charges : les charges fixes annuelles et les charges de fonctionnement.

- **Les charges fixes annuelles :**

La moissonneuse-batteuse, comme la plupart des investissements, coûte même si elle n'est pas utilisée :

- ✓ Sa valeur diminue d'année en année (la dépréciation) ;
- ✓ Son acquisition peut générer des emprunts qu'il faut rembourser avec intérêt ;
- ✓ Il faut l'assurer, l'abriter et supporter des frais de gestion ;
- ✓ Les sommes engagées dans l'autofinancement représentent un capital dont le revenu est perdu.

Les charges fixes (Fig.44) ou charges de structures sont calculées en valeurs annuelles à partir du taux d'amortissement moyen.

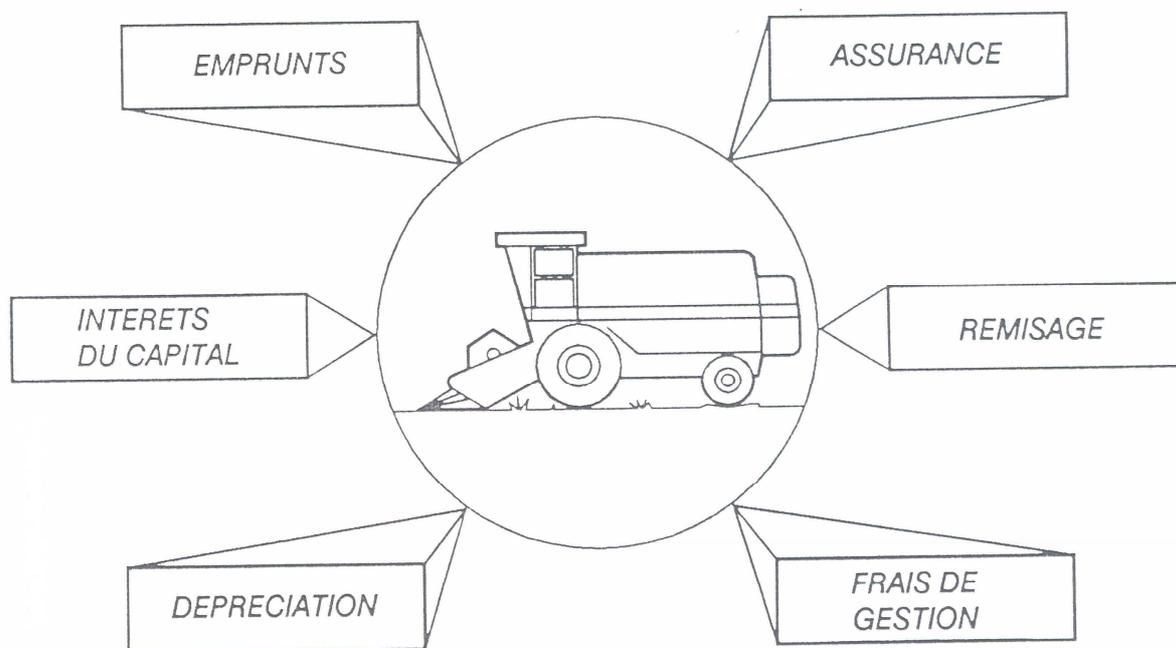


Figure 44 : Les charges fixes.

### - Les charges de fonctionnement

Chaque heure de fonctionnement, la moissonneuse-batteuse consomme du carburant et des lubrifiants, use des pneumatiques et nécessite des fournitures (filtres...). D'autre part son maintien en état de marche nécessite des frais de réparation : heures de mécanicien et pièces détachées ainsi que du temps de main d'œuvre pour les opérations de réparation à la récolte, d'entretien journalier et de remisage en fin de campagne.

Le coût d'utilisation horaire et annuel peut être déterminé par deux méthodes différentes appelées coût comptable et coût prévisionnel.

- **Le coût comptable** est établi à la fin de chaque exercice annuel, à partir des enregistrements comptables des dépenses et des durées d'utilisation. Il est précieux, car il permet :
  - De contrôler le comportement du matériel et son degré d'usure, en comparant les frais de réparation d'une année sur l'autre ;
  - D'établir le coût de revient de certaines productions ;
  - De vérifier l'utilité de la propriété d'un matériel sur l'exploitation ou au contraire de justifier sa vente et d'opter pour l'utilisation en commun du matériel ou pour les services d'un entrepreneur ;
  - De recueillir des références indispensables pour le calcul des coûts prévisionnels ;
  - De contrôler le bon comportement des conducteurs...

Précisons que la saisie des éléments du coût comptable connaît actuellement une évolution importante, grâce au développement des systèmes informatiques embarqués. Les utilisateurs peuvent disposer d'informations précises recueillies pratiquement en temps réel.

Dans le cas contraire, on utilise soit des valeurs moyennes aussi appelées « valeurs standards », comme pour la consommation du gasoil, soit des calculs théoriques, comme pour l'amortissement. On utilise alors les mêmes méthodes que pour le calcul du coût prévisionnel.

- **Le coût prévisionnel** est le calcul théorique du coût d'utilisation d'une moissonneuse-batteuse.

Le gestionnaire a besoin de connaître les dépenses prévisionnelles qu'entraîne l'utilisation d'une moissonneuse-batteuse afin :

- De prévoir les coûts de production ;
- De pouvoir faire des devis et factures en cours d'exercice (cas d'un entrepreneur) ;

- D'établir des barèmes.

Pour établir un coût prévisionnel, il faut des références qui proviennent d'enregistrements ou d'études et une méthode de calcul.

## 2. Le calcul prévisionnel des charges fixes

### - L'amortissement

L'amortissement est calculé selon une méthode dégressive, en appliquant à la valeur résiduelle un taux de dépréciation annuel lié à la durée et au rythme d'utilisation.

L'amortissement diminue d'année en année. Voir tableau1

Tableau1 : détermination du taux d'amortissement et de la valeur résiduelle en fonction de la durée d'utilisation.

Durée d'utilisation	1 à 5 ans 25%		4 à 7 ans 20%		Plus de 7 ans 15%	
	A%	Vr%	A%	Vr%	A%	Vr%
1 <sup>ère</sup> année	25	75,0	20,0	80	15	85,0
2 <sup>ème</sup> année	18,7	56,3	16	64	12,7	72,3
3 <sup>ème</sup> année	14,1	42,2	12,8	51,2	10,9	61,4
4 <sup>ème</sup> année	10,6	31,6	10,2	41	9,2	52,2
5 <sup>ème</sup> année	7,4	23,7	8,2	32,8	7,8	44,4
6 <sup>ème</sup> année			6,6	26,2	6,7	37,7
7 <sup>ème</sup> année			5,2	21	5,7	32,0
8 <sup>ème</sup> année			4,2	16,8	4,8	27,2
9 <sup>ème</sup> année					4,0	23,2
10 <sup>ème</sup> année					3,5	19,7

A% : amortissement en % ;

Vr : valeur résiduelle en %.

Pour une valeur d'achat donnée (VA) et un nombre d'année d'utilisation (n), la valeur résiduelle (VR) est égale à VA x Vr% et l'amortissement moyen (AM) est égal à :

$$AM = \frac{VA - VR}{n}$$

Le nombre d'années est généralement choisi de façon à ne pas dépasser 3000 heures car au-delà, l'expérience montre qu'en moyenne, les frais dus à de grosses réparations augmentent fortement.

- **L'intérêt du capital**

Pour l'estimation du capital (i), on détermine d'abord la valeur moyenne du matériel (VM) à laquelle on applique le taux d'intérêt choisi (1%) :

$$VM = \frac{VA + VR}{2}$$

$$i = VM \times i\% \text{ ou } i = \frac{VA + VR}{2} \times i\% \text{ ou}$$

$$i = VA \times \frac{1 + VR}{2} \times i\%.$$

- **Les frais divers :**

Les frais divers comprennent le remisage, l'assurance, les frais de gestion...ils sont estimés à 1% de la valeur d'achat de la moissonneuse-batteuse.

1. Le calcul prévisionnel du coût de fonctionnement :

- **Le carburant :**

La consommation horaire du carburant d'un moteur diesel à sa puissance nominale est de l'ordre de 260 g par KW.h, soit environ 0,31 litre par KW.h (environ 0,23 l/ch.h).

Le taux de change moyen observé pour une moissonneuse-batteuse étant de 75%, on peut retenir une consommation moyenne de 0,24 litre par KW.h (0,18 litre par ch.h). Ainsi, une machine de 100 KW consommerait en moyenne = 100 x 0,24 = 24 litres/heure.

- **Les lubrifiants :**

On peut calculer avec précision la dépense d'huile du moteur à partir de la capacité des cartes et de la fréquence des vidanges. L'expérience montre que l'ensemble des dépenses (huile moteur, huile de transmission et hydraulique, filtre) s'élève en moyenne à 25% de la dépense de carburant.

- **Les pneumatiques, l'entretien et les réparations :**

Les coûts standard issus de l'expérience permettent de situer l'ensemble des dépenses liées aux pneumatiques, à l'entretien et aux réparations à 1 pour 10 000 de la valeur d'achat de la moissonneuse-batteuse neuve par heure de fonctionnement.

### 3. Le calcul du coût prévisionnel d'utilisation

Pour montrer comment utiliser les données précédentes, prenons l'exemple de moissonneuse-batteuse (CLAAS) fabriquée sous licence en Algérie ; c'est une machine conventionnelle de 105 cv (75 KW) avec une coupe de 4 m.

Actuellement la machine est vendue par l'entreprise de fabrication de matériel agricole de Sidi Bel Abbes à 4 000 000 DA. Le temps de récolte d'un hectare de céréales à paille a été évalué sur terrain, il est de 30 minutes.

Pour notre exemple, nous supposons que la machine doit récolter chaque année 630 ha à raison de 45 jours de travail et de 7 heures par jour.

La machine effectuant 315 heures par an, elle pourra être conservée environ 10ans en admettant qu'elle peut être utilisée environ 3000 heures avant que son propriétaire ne rencontre des problèmes mécaniques importants. En nous rapportant au tableau « détermination du taux d'amortissement et de la valeur résiduelle » on voit qu'il est correct de choisir un taux de 15 % par an, soit une valeur résiduelle de 19,7% de la valeur d'achat au bout de 10 ans. Le taux d'intérêt annuel du capital est estimé à 10% (0,10).

- Taux d'amortissement annuel moyen =  $(100 - 19,7)/10 = 8,03\%$
- Amortissement moyen annuel de la machine =  $4\,000\,000 \times 0,0803 = 321\,200$  DA.
- Intérêt du capital pour la machine =  $4\,000\,000 \times (1+0,197)/2 \times 0,1 = 239\,400$  DA.
- Frais divers pour la machine (1% par an de la valeur d'achat) =  $4\,000\,000 \times 0,01 = 40\,000$  DA.
- **Récapitulatif des charges fixes annuelles :**

	Amortissement	Intérêt du capital	Frais divers	Total
Machine	321 200	239 400	40 000	600 600 DA

#### Calcul du coût horaire de fonctionnement

- Carburant = 13,70 DA par litre =  $75\text{ KW} \times 0,24 \times 13,7 = 246,6$  DA/h.
- Lubrifiant =  $246,6 \times 25\% = 61,65$  DA/h.
- Entretien et réparation =  $4\,000\,000 \times 1/10\,000 = 400$  DA/h.
- Récapitulatif du coût horaire de fonctionnement :  
 $246,6 + 61,65 + 400 = 708,25$  DA/h.

**Calcul du coût horaire total d'utilisation**

- Charges fixes : machine =  $600\ 600 / 315 = 1906,66$  DA/h ;
- Coût de fonctionnement : 708,25DA/h ;
- Coût horaire total d'utilisation : 2614,91 DA/h.
- coût d'utilisation à l'hectare :  $\frac{2614,91 \times 30}{60} = 1307,45$  DA/ha

Précisons que ces coûts ne représentent que les charges d'utilisation de la moissonneuse batteuse ; ils ne tiennent pas compte des coûts de main d'œuvre.

Cet exemple montre que le coût total d'utilisation d'une moissonneuse-batteuse, comme tout autre matériel, est étroitement lié au nombre d'heures de travail annuel.

Par ailleurs, le chantier de récolte nécessite généralement des moyens de transport = un chauffeur, un tracteur de puissance adéquate et deux bennes de capacité suffisante pour que l'on ait le temps de faire l'aller et le retour entre la parcelle et le silo [26], de peser, de décharger. Le coût des matériels de transport est calculé selon l'utilisation qui en est faite.

## Conclusion Générale

La mécanisation des céréales induit des pertes importantes en grain provenant en grande partie de mauvais réglages des différents organes de la moissonneuse batteuse ; le moment de la récolte (souvent tardif), le manque de qualification des ouvriers agricoles et l'inorganisation des chantiers de récolte sont aussi des facteurs déterminants et qui sont souvent négligés.

Les différents organes de la moissonneuse doivent être réglés en fonction des conditions de la récolte et souvent il faut les corriger en cours de journée dans la mesure où le taux d'humidité est variable.

Il résulte de ce travail que les pertes en grain provoqués au niveau du tablier de coupe se produisent quand la vitesse périphériques de lattes du rabatteur ( $V_{rab.}$ ) est trop grande par rapport à la vitesse d'avancement de la machine ( $V_a$ ) ; la vitesse de rotation du rabatteur devrait être légèrement supérieure à la vitesse d'avancement pour que les tiges coupées soient inclinées vers la table de coupe et le coefficient cinématique  $\lambda$  devrait varier entre 1 et 1,4. Les trajectoires des lattes forment des boucles à leur base ; quand la culture est très dense et versée, la vitesse du rabatteur doit être élevée et les boucles ne seront que plus grandes. La hauteur de position du rabatteur doit être établie de façon que la vitesse périphérique des lattes soit tangentielle au point de contact avec les tiges. Une disposition correcte du rabatteur par rapport à la vis sans fin et à la barre de coupe permet d'orienter les tiges coupées pour aller vers le convoyeur et de garder l'épaisseur de la matière à couper constante.

Les pertes en grain aux organes de battages sont provoquées par un mauvais réglage de la vitesse de rotation du batteur et de l'écartement batteur/contre batteur en relation avec la vitesse d'avancement de la machine. Les pertes augmentent à mesure qu'augmente cette dernière et donc augmentent aussi avec le débit puisque ce dernier est dépendant de la vitesse de la machine. Il faut trouver un débit optimal qui convient aux conditions de récolte et aux dimensions des organes de séparation, de nettoyage et de secouage de la machine qui induit le moins de pertes possible. Pour la moissonneuse batteuse « claas » le débit approprié, dans les conditions de l'essai, est de 34 q/h pour une vitesse de 4 km/h alors qu'il n'est que de 25 q/h pour une vitesse de 3 km/h pour la moissonneuse batteuse « Saba ».

L'humidité du grain influe beaucoup sur le comportement du grain dans les organes de battage ; plus le grain est sec plus il casse facilement ; le grain doit être récolté au moment

voulu (16 à 18 % d'humidité). Par manque de machine de récolte et dans certaines régions le grain est récolté très tard et le taux d'humidité est déjà au dessous de 12 %. Le taux de casse passer ainsi de 1,1 % du rendement , soit 12,1 kg, à 8,3 % , soit 40,1 kg, pour la moissonneuse batteuse « Claas » et de 1,3 % (17,1 kg) jusqu'à 9,3 % (45,3 kg) pour la moissonneuse batteuse « Saba ». En corrigeant les réglages des organes de battage en cours de journée on peut diminuer le taux de pertes et de casse des grains ; il faut diminuer la vitesse de rotation du batteur et augmenter l'écartement batteur/contre batteur quand l'humidité diminue.

Ce travail a mis en valeur aussi les charges d'utilisation de la moissonneuse batteuse sans tenir compte des coûts de main d'œuvre. L'exemple pris montre que le coût total d'utilisation d'une moissonneuse batteuse est étroitement lié au nombre d'heure de travail annuelle.

L'organisation des chantiers de récolte pose de gros problèmes techniques en Algérie ; on ne raisonne pas les investissements et donc on ne peut pas réduire les coûts de fonctionnement. L'adaptation des récolteuses aux besoins de l'exploitation est plus que d'actualité. L'organisation d'un chantier de récolte des céréales en vrac coûte moins cher que celui en sacs et en Algérie on opte toujours pour ce mode en sacs, c'est paradoxal. On utilise des machines de 100 ch alors que souvent une automotrice de 80 ch suffit.

## REFERENCES BIBILIGRAPHIQUES

1. ANONYME (1971) : Perfectionnement des moissonneuses batteuses, société française des pétroles, B.P. n° 129.
2. ANONYME (1980) : La moissonneuse batteuse, société française des pétroles, B.P. n° 101.
3. ANONYME (1984) : Les moissonneuses batteuses « Twin-Flow » de Sperry-New Hollande, Cemagref B.I. n° 312 .
4. ANONYME (1987) : Protocole des tests de moissonneuses batteuses, Cemagref B.I. n° 315.
5. ANONYME (1987) : La culture des céréales dans les hautes plaines sétifiennes, guide pratique, I.T.G.C. Sétif.
6. ANONYME (1988) : La moissonneuse batteuse et son entretien, société française des Pétroles, B.P. n° 148.
7. ARNOLD, R.E (1964): Experiments with bar rasp bar threshing drums. I: some factors affecting performance. Journal of Agricultural Engineering Research n° 9 (2) p.99-131.
8. BARTHELEMY (1985): Récolter avec une machine bien réglée. Revue le producteur Agricole n° 373.
9. BILINSKI , W.K.(1966) : Damage resistance of seed grain. Transaction of the A.S.A.E. 9 (3), p.360-363.
10. BRIZGIS, L.G. (1980): Automatic cylinder speed control for combines. Transactions of the A.S.A.E. n° 70.
11. CASPERS, L. (1966): Influence of concave clearance and construction of threshing performance. Grandlagen der landtechnik 16 (6), p.220- 228.
12. DETRAUX,R et OESTGES,(1979) : La mécanisation des travaux agricoles ; la presse agronomique de Gembloux, Belgique.

13. DOBEK. J. (1970) : Méthodologie d'essais de moissonneuses batteuses ;  
travaux d'IBMER (en polonais), Varsovie.
14. ETSOURI. K. (1985) : Etude de la détection des pertes de grains dans la  
moissonneuse batteuse par voie électronique. Thèse de  
Magister, INA – Alger.
15. ETTORE GASPARETTO , MARCELLO ZEN ET ANTONIO GUADAGNIN (1982) :  
Ultra high speed movie observation of a conventional threshing  
mechanism (cylinder concave rear beater) working on wheat.  
Revue: grain and forage harvesting p.105-111.
16. FAIRBANKS.G.E, JOHNSON.W.H. ET SCHROCK.M.D (1978): Field comparisons of  
rotary and conventional combines in wheat. Revue: Transaction of  
the A.S.A.E. n° 78-1991.
17. FRENZEL, D.(1967): Einflub der dreschwerkinstellug auf die verluste ammähdresher:  
Deutsche Agrartechnik 17 jg Heft 7.
18. GERARD VROMANDT et JEAN MICHEL COUADE (1988) : les moissonneuses  
batteuses. Cultivar n° 242.
19. GIORBA. J, DRESZER. K, et NOWAK. J ( 1985) : The influence of grain combine  
harvesting on biological value of cereal grain. Sbornik  
Mechanizacni Faculty Visoke Sloly Zemedelske, Praha tom 1  
p. 267-272.
20. GOC. M (1976) : Bulletin des travaux techniques d'essai. Travaux I.B.M.E.R ; ed.  
P.W.R.L. Varsovie
21. GRUNDAS. S, HNILICA. P (1985): a porosimetric method for the study of  
mechanical damage of wheat grain endosperm. Revue: Mechanical  
Properties of Agricultural Materials n ° 304 p. 113-119.
22. HAMILTON. H. J. et BUISON.M. J (1980) : Approches to the problem of combine grain  
losses on sloping ground . I- An alternative to the straw-walkers  
Revue: Transaction of the A.S.A.E. 80-2000.
23. HARRISON. H. P. (1975): Effect of moisture content of wheat on threshing. Revue:  
Canadian Agricultural Engineering, 17 (1) p. 55- 58.
24. HOWE, S.D. (1979): High hopes for axial flow idea. Revue: Power Farming p. 62-23.

25. HUISMAN. W (1983): Optimum cereal combine harvester operation by means of automatic machine and threshing speed control. Thèse de doctorat (Wageningen Pays Bas).
26. HURBURGH.J.R. et CHARLES .R (1983): Breakage susceptibility: causes and cures. Cooperative extension service. ES. IOWA. State University. Ames, IOWA 50011.
26. KACI . F (1983): Optimisation de la récolte des céréales avec la moissonneuse batteuse-cas de la récolte en vrac et en sac. Thèse de magister INA
27. KAMINSKI. E (1985): Théorie de la similitude et de l'analyse dimensionnelle dans les expérimentations en machinisme agricole. INA. GR.
28. KANAFOJSKI.C. Z. et KARWOWSKI. I (1972) : Théorie et construction des machines agricoles. Edition : P.W.R.L. – VARSOVIE-
29. KLINNER. W.E (1979): Reducing field losses in grain harvesting operation. Agricultural Engineering Research p.23-27.
30. KLINNER. W.E et BIGGAR. G (1972): some effects of harvest date and design features of the cutting table on the front losses of combine harvesters. Journal of Agricultural Engineering Research.
31. KONNING. K (1973): Mesurement of some parameters of different springwheat varieties affecting combine harvesting losses. Journal of Agricultural Engineering Research.
32. LAJOUX. P (1983): De nouvelles solutions face au batteur axial. Producteur Agricole Français. N° 329.
33. LFLURY. M..J et STONE G.T.: Speed control of a combine harvester to maintain specific level of measured threshing grain loss. Journal of Agricultural Engineering Research.
34. Mc GECHAN. M.B. et GLASBEY. C. A (1982): Benefits of different forward speed control systems for combine harvesters. Journal of Agricultural Engineering Research.
35. MEM-MUSZAKI. I (1981): Method and apparatus for controlling a harvesting combine. U.K. patent 2057837.
36. MITCHELL. F.S et ROUNTHWAITE . T.E (1964): Resistance of two varieties of wheat to mechanical damage by impact. Journal of Agricultural

- Engineering research 4 (9) p.303-306.
37. MOFAZZAL. H , CHOWDHURY, et WESLEY. F (1976): Colorimetric determination of grain damage. Transaction of.A.S.A.E., volume 19.
38. NAVE. W. R et PAULSEN.M.R (1978): Corn damage from conventional and rotary combines. Transaction of A.S.A.E. n° 78-1522.
39. NYBORG. E.O. (1964): A test procedure for determining combine capacity. Canadian Agricultural Engineering.
40. NYBORG. E.O. and al (1969): Grain combine loss characteristics. Transaction of the A.S.A.E. 12 (6) p.727-732.
41. O'DOGHERTY. M. J.; HUBER J.A ; DYSON. J; C. J. MARSHAL (1995): A study of the physical and mechanical properties of wheat straw. Journal Agricultural Engineering Research. Volume 62 (2).
42. PETRE I. MIU (2002): Procédé de battage et de séparation dans des unités de type « axial » et « tangentiel ». Présentation à la réunion d'AIC 14-17/07/02. Saskatoon, Saskatchewan.
43. REED. W.B and al (1970): A laboratory study of grain-straw separation. A.S.A.E. paper n° 70-604.
44. RUIZ. A (1983): Cosechadoras de grano. Agricultura (E) n° 612 p.497-502.
45. SWAPAN. K.R (2001): Performance evaluation of a combine harvester in Malaysian Paddy Field. Paper presented at Asia Pacific Advanced Network (APAN) Penang Meeting, University Science Malaysia, August 20-22, 2001.
46. SLIPEK. Z et KALOWKA. J (1985): The influence of moisture content on mechanical damage to wheat grain . Sbornik mechanisacni fakulty vysoke scoly zemedelske. V Praze. Praha, tom.2 .p.469-473.
47. SLIPEK. Z et KALOWKA. J (1985): Methods of estimation the resistance to mechanical damage. Sbornik mechanisacni fakulty vysoke scoly zemedelske. V Praze. Praha, tom.2 p.809-814..

48. STYK. B et SZOT. B (1985) : Estimation of the effect of mechanical damage of cereal grain on its germination capacity. Sbornik mechanisacni fakulty vysoke scoly zemedelske. V Praze. Praha, tom.2 p.855-860.
49. VAS. F. M. et HARRISON. H.P. (1969) : the effect of selected mechanical threshing parameters on kernel damage and threshebility of wheat. Canadian Agricultural Engineering. N° 11. p. 83-87.