

AMÉLIORATION DES PERFORMANCES POUR BROYER DES ÉCHANTILLONS DE VÉGÉTAUX

Pascal Vernoux¹

Résumé. En vue de l'obtention de poudres nécessaires aux analyses biochimiques (SPIR - spectroscopie proche infrarouge ou chimie humide), le broyage est une étape primordiale dans l'étude de la composition de la valeur alimentaire des fourrages. Un système de broyeur à marteaux obsolète, datant des années 60, a fait l'objet de nombreuses modifications afin de diminuer les nuisances pour les utilisateurs (bruit et poussières), d'augmenter la rapidité d'exécution et de faciliter son utilisation. La diminution significative des bruits et des poussières a permis de respecter au mieux les normes d'hygiène et sécurité pour les utilisateurs. Ces améliorations apportées sont significatives et ont un coût relativement limité.

Mots clés: broyeur de laboratoire à marteaux, composition biochimique, fourrages, plantes fourragères, SPIR, valeur alimentaire.

Introduction

Depuis de nombreuses années, l'URP3F (Unité de Recherche Pluridisciplinaire Prairies et Plantes Fourragères) a acquis une expertise dans la mesure de la qualité des plantes fourragères. Les différents composants biochimiques des plantes (azote, parois végétales, glucides solubles ...) sont prédits par spectrométrie dans le proche infrarouge (SPIR) ou par une analyse en chimie humide. Pour ces deux techniques d'analyse, les végétaux concernés (maïs, plantes fourragères, etc.) doivent être séchés à l'étuve à une certaine température et durant un temps précis puis broyés à travers une grille de 1mm. L'objectif de cette dernière opération est d'obtenir une poudre avec une granulométrie la plus homogène possible et sans provoquer un échauffement de la matière. D'autres préparations demandent des broyages plus fins (jusqu'à 0,5 mm). Tant à l'Inra que chez bon nombre de sélectionneurs, les broyeurs utilisés étaient des broyeurs à marteaux de la société Gondard.

Ces broyeurs à marteaux (**Figures 1 et 2**) avec un corps en fonte, ne sont plus fabriqués aujourd'hui. Ils répondaient parfaitement aux attentes des utilisateurs en terme de qualité de broyage et avaient l'avantage d'être très robustes. Cependant, leur utilisation posait certains problèmes :

- le bruit généré par ces broyeurs était très important ;
- le broyage générerait beaucoup de poussières,
- le système d'alimentation du broyeur en végétaux n'était pas des plus ergonomique.

L'objectif de cet article est de présenter les améliorations réalisées sur ce type de broyeur au fil des années afin de diminuer le bruit et l'émission des poussières tout en augmentant le nombre d'échantillon broyés par jour et par personne.

Principe de fonctionnement

¹ Unité de Recherches pluridisciplinaires Prairies et Plantes Fourragères, Inra, 86600 Lusignan, France
Pascal.vernoux@inra.fr

Pascal Vernoux

Tout type d'échantillon représentatif des végétaux, (miscanthus, canne à sucre plantes de taillis, ensilage de maïs, graminées, légumineuses, plantes prairiales, etc.) correctement séché peut être broyé à la granulométrie choisie avec ce matériel. La seule contrainte reste que la quantité minimum d'échantillons secs ne doit pas être inférieure à 200 g.

En utilisation courante et après avoir allumé l'aspiration, on dépose dans l'auge vibrante l'échantillon à broyer ainsi qu'un sac de réception sur le porte-sac que l'on fixe à l'aide des sauterelles. On met en marche l'appareil en veillant à ce que l'échantillon descende régulièrement dans le broyeur. Une fois l'échantillon broyé (temps de broyage estimé par l'opérateur) on ouvre les portes, on décroche le porte-sac, on récupère le sac et on vide la poudre dans une cuvette. Après homogénéisation de la poudre à l'aide d'une main-écope, on prélève la quantité définie par le protocole expérimental qu'on dépose dans une boîte identifiée destinée aux analyses biochimiques. Lors du passage de chaque échantillon on nettoie l'auge de distribution à la brosse.

Après chaque broyage le porte grille est nettoyé à l'aide d'une brosse, le sac est retourné et la poudre restante est aspirée sur une bouche d'aspiration grillagée. Enfin la cuvette est nettoyée à l'air comprimé.



Figure 1. Broyeur à marteaux « Gondard » datant de années 50 à l'origine du projet. (Photo : S. Blugeon, URP3F, Inra).



Figure 2. Organes de broyage du broyeur « Gondard » (marteau, porte-grille et grilles de 0,5 à 2 mm). Photo S. Blugeon, URP3F, Inra).

Les améliorations apportées au broyeur à marteaux au cours des 25 dernières années

1995, premières adaptations du broyeur à marteaux

Sur ce type de broyeur plusieurs améliorations ont été réalisées par le personnel technique de l'Unité, elles sont représentées sur la **Figure 3** (voir page suivante).



Figure 3. Description du broyeur « Gondard » après les adaptations réalisées en 1996. (Photo S. Blugeon, URP3F, Inra).

Afin de diminuer la gêne occasionnée par les émissions de poussières, nous avons commencé par installer un système d'aspiration afin de capter les poussières émises lors du broyage et de la manipulation de la poudre. Des postes de travail avec aspiration intégrée ont été créés à côté de chaque broyeur pour manipuler la poudre en limitant la dispersion des poussières dans la salle. En effet, après broyage, plusieurs manipulations sont nécessaires. La poudre contenue dans le sac de broyage est déversée dans une bassine pour être homogénéisée puis dans un tube plastique de 150 mL pour son stockage. Ce système d'aspiration était animé par moto-ventilateur et la séparation de l'air et de la poudre se faisait par un filtre à manches avec la récupération des poussières dans 12 sacs en plastique situés en dessous. Avant l'installation de cette aspiration, aucun système d'extraction et de récupération des poussières n'existait dans cette salle.

Pour diminuer les nuisances sonores, le broyeur a été installé dans un caisson en bois insonorisé avec de la mousse et relié au système d'aspiration pour récupérer les poussières lors du broyage. Malgré cette amélioration, le port du casque reste néanmoins obligatoire dans cette salle.

Afin d'améliorer l'ergonomie, différents types d'auges ont été fabriquées (**Figure 4**). Une auge en inox est utilisée pour le broyage des plantes entières de graminées et légumineuses fourragères. Une auge fixe et ouverte en PVC permet le broyage des graminées et des légumineuses fourragères qui ont été pré-broyées en vert. Enfin, une auge en PVC capotée et montée sur un vibreur permet l'arrivée régulière de la matière pour le broyage d'échantillons très volumineux comme du maïs récolté en ensilage ou des graines de céréales et d'oléoprotéagineux. L'ajout d'un porte sac fixé au broyeur par des ressorts a permis d'améliorer nettement la manipulation du sac contenant la poudre par rapport à l'ancien système.

Pour sécuriser l'utilisation du broyeur, un contacteur, relié à l'alimentation du moteur du broyeur, a été placé derrière les portes en bois du capotage. Cela permet l'arrêt automatique du broyeur lors de l'ouverture des portes et l'impossibilité de broyer un échantillon avec les portes non correctement fermées.

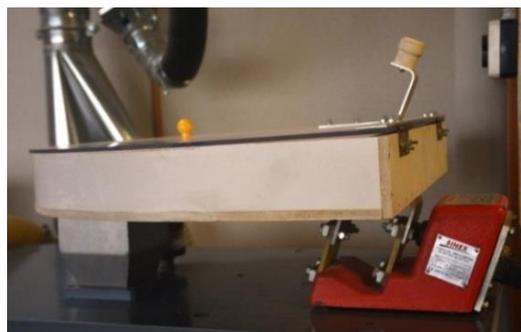
Pascal Vernoux



Auge en inox



Auge en PVC fixe ouverte



Auge en PVC fermée avec vibreur

Figure 4. Les trois auges utilisées en fonction de la présentation des végétaux à broyer (ensilage de maïs, graines, graminées et légumineuses fourragères en plantes entières). (Photo S. Blugeon, URP3F, Inra).

2011, conception d'un nouveau broyeur sur la base du broyeur à marteaux Gondard

Le broyeur est placé en partie haute dans un caisson en acier qui est habillé à l'extérieur avec du PVC et à l'intérieur avec de la mousse spécialement conçue pour limiter le bruit (**Figure 5**). Ce caisson vient remplacer l'ancien caisson en bois.



Figure 5. Vue d'ensemble du nouveau broyeur avec modifications réalisées par une entreprise spécialisée. (Photo S. Blugeon, URP3F, Inra).

Sur la partie inférieure du broyeur à marteaux (**Figure 6**), les attaches à ressort du porte sac sont remplacées par des attaches de type sauterelle beaucoup plus faciles à manipuler. L'ouverture du caisson se fait par une double porte équipée de deux contacteurs qui coupe l'alimentation du moteur du broyeur en cas d'ouverture.



Figure 6. Système d'attache du porte sac de type sauterelle. (Photo S. Blugeon, URP3F, Inra).

Le caisson est équipé de deux bouches d'aspiration (**Figure 8**) au lieu d'un auparavant. Ces deux bouches permettent d'augmenter la dépression d'air dans le caisson et de récupérer un maximum de poussière. Des

Pascal Vernoux

croisillons sont fixés dans les bouches et limitent tout risque d'aspiration du sac de broyage par le système d'aspiration



Figure 7. Bouches d'aspiration dans caisson du broyeur. (Photo S. Blugeon, URP3F, Inra).

En partie basse, la sécurité est améliorée. Le compartiment moteur du broyeur est caréné avec du polycarbonate transparent. Auparavant, cette partie était ouverte et il subsistait toujours un risque d'accident. Le moteur est équipé d'un variateur de puissance qui permet un démarrage progressif du broyeur et son ralentissement en cas de surcharge de matière dans le broyeur. Un tendeur fileté permet de régler la tension de la courroie d'entraînement. Le boîtier électrique du moteur est maintenant équipé d'un arrêt d'urgence.

Ces modifications ont été réalisées par une entreprise locale sur propositions des utilisateurs et du responsable de la salle de broyage.



Figure 8. Tablette escamotable.



Figure 9. Auge sans coin.

(Photos S.Blugeon, URP3F, Inra).

2016, conception et fabrication d'un nouveau broyeur à marteaux

En 2011, la société qui fabriquait les broyeurs « Gondard » a cessé ses activités. Par ailleurs, les besoins en broyages tant dans des Unités à l'INRA que dans des structures privées n'ont cessés de croître au fil des années. Pour répondre à ces attentes, un nouveau broyeur a été fabriqué par une entreprise locale (Établissements Boisson, 86600 Lusignan) en étroite collaboration avec le responsable de la salle de broyage de l'URP3F. L'objectif était de conserver les qualités du broyeur à marteaux « Gondard » telles que l'efficacité et la régularité du broyage ainsi que la robustesse de l'appareil. Un effort particulier a été porté sur l'atténuation du bruit du broyeur et sur les émissions de poussières tout en maintenant un niveau de sécurité optimal pour le personnel et en facilitant l'ensemble des manipulations.

Le corps de ce nouveau broyeur est composé de deux pièces usinées en aluminium et soudées, dont le principe de broyage reste le même. Il est composé d'un marteau à quatre branches qui vient écraser la matière à broyer

contre une grille en acier. C'est le diamètre des trous de cette grille (de 0,5 à 4 mm) qui va déterminer la finesse de la poudre obtenue. Ce nouveau broyeur est présenté sur la **Figure 10**.

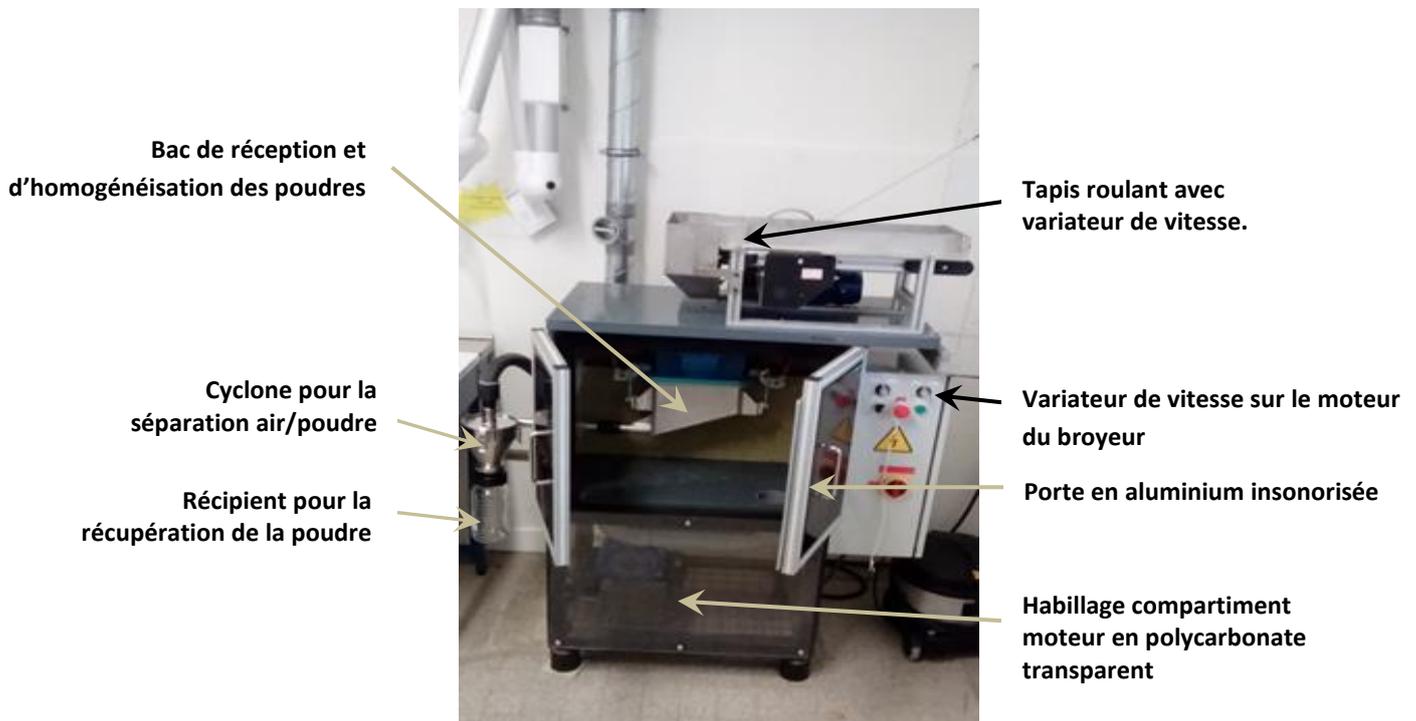


Figure 10. Broyeur à marteaux réalisé par la société Boisson. (Photo S.Blugeon, URP3F, Inra).

Sur ce broyeur, différents types d'aménagements peuvent être réalisés en fonction des besoins.

En fonction du type de fourrage, le broyeur peut être équipé d'un tapis roulant en partie haute qui vient remplacer l'auge de distribution « classique ». La vitesse d'avancement du tapis, réglable grâce à un variateur, permet une arrivée régulière de la matière dans le broyeur et évite de mobiliser une personne pour pousser le fourrage.

Il peut être équipé d'un nouveau système de récupération de la poudre qui simplifie les manipulations et supprime en grande partie les émissions de poussières dans la salle. Sous le broyeur, le porte sac est remplacé par un bac hermétique qui réceptionne la poudre. La poudre est ensuite aspirée vers un cyclone situé à l'extérieur du caisson. Ce cyclone, remplace le rôle du sac en toile et permet la séparation de la poudre et de l'air. L'air extrait par le haut du cyclone est évacué par le système d'aspiration. La poudre quant à elle, tombe dans un récipient en verre.

En plus de conserver une très bonne qualité de broyage, ce nouveau broyeur à marteaux présente bien d'autres avantages. D'un niveau sonore de 110 décibels en crête sans capot de protection sur l'ancienne version, le bruit généré par ce nouveau matériel passe à 80 décibels avec l'insonorisation du caisson et avec l'installation d'un capot de protection sur l'auge de distribution ou sur le tapis roulant. La productivité est améliorée avec environ 80 échantillons broyés par jour et par ETP. La facilité d'utilisation est aussi en nette progression avec des manipulations moins nombreuses et plus simples.

Exemples d'applications

Quelques exemples d'applications dans des Unités Inra :

- ✓ Inra URP3F de Lusignan (86). Sur la base d'un broyeur « Gondard », transformation avec la mise en caisson ventilé, l'adaptation d'une auge vibrante et l'habillage PVC et polycarbonate ;
- ✓ Inra UERGCO de Ploudaniel (29). Conception/fabrication d'un broyeur à marteaux usiné avec un variateur sur le moteur et une auge de distribution montée sur vibreur ;

Pascal Vernoux

- ✓ Inra UEGCIE de Mons-en-Chaussée (80). Conception/fabrication d'un broyeur à marteaux usiné avec un variateur sur le moteur et équipé d'un tapis roulant avec un variateur sur l'avancement.
- ✓ Inra UMRH de Theix (63). Conception/fabrication d'un broyeur à marteaux usiné avec un variateur sur le moteur et équipé d'un tapis roulant avec un variateur sur l'avancement. Ce broyeur est équipé d'un bac d'homogénéisation en aluminium, d'un cyclone et d'un système de récupération des poudres dans un récipient fermé.

Finalement, cette technologie s'est même exportée hors de l'Inra, car après la visite de nos installations, le Laboratoire d'Analyses agroalimentaire du Centre Ouest (LABCO) basé à Surgères (17) vient de s'équiper du broyeur dernière génération.

Conclusion et perspectives

Au fil des années, nous n'avons cessé d'améliorer l'activité de broyage afin de diminuer les nuisances pour les utilisateurs (poussières, bruit...). Ces améliorations et ces idées, aboutissent aujourd'hui à la création d'un nouveau broyeur à marteaux pour les végétaux permettant de conserver une très bonne qualité de broyage et une bonne productivité. Ce nouveau broyeur a été présenté par Jean-Luc Boisson au salon de L'Association Française de Mécanisme en Expérimentation Agricole du Mans. Notre expérience en termes de broyage, nous permet aujourd'hui de conseiller des structures (Inra ou privées) dans leur démarche de choix du matériel et l'organisation des postes de travail.

Nous allons continuer à développer de nouvelles techniques par exemple installer un pré broyeur pour faciliter la descente des fourrages dans l'orifice du broyeur.

Remerciements

Je remercie Jean-Luc Boisson spécialisé en mécanique de précision à Lusignan, pour son investissement et la qualité de son travail dans la réalisation de ce prototype. De plus je remercie mes collègues pour leurs aides à la mise en forme des textes, leurs relectures et leurs corrections.