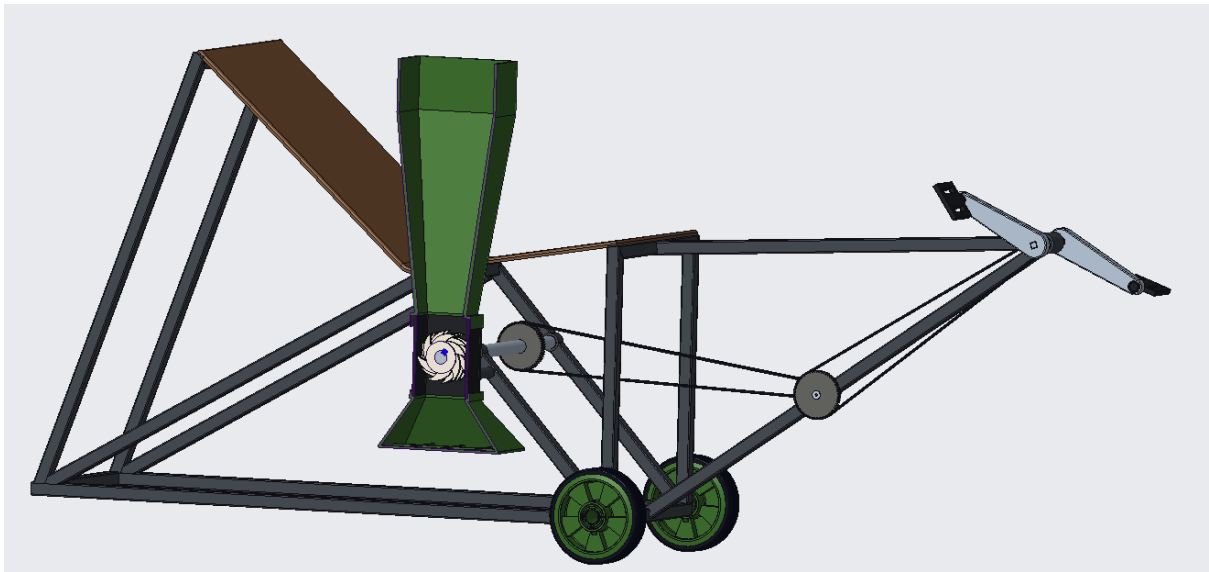


Gpe 203-A: Zéro Déchet Troyes

Conception et organisation de production d'un broyeur de branchages manuel.



Membres d'équipe :

- Dunabin Emile
- Haddad Imad
- Mercat Nils
- Duchez Guillaume
- Devaux Ronan

Sommaire

1. Présentation du projet
2. Cahier des charges
3. Etude du sujet
4. Développement du produit
5. Conception final
6. Etude de prix
7. Conclusion

Présentation du projet

L'objectif du projet est de broyer du bois raméal fragmenté afin d'avoir un apport de matière sèche pour le compostage individuel. Ces copeaux de branches permettent une meilleure circulation de l'air dans le bac de compostage. Ils permettent aussi d'apporter de l'azote, voulu dans le compost.

On cherche à réaliser un broyeur n'ayant pas besoin d'essence ou d'électricité pour fonctionner. Cela permettrait de l'utiliser dans les jardins tout en n'ayant pas de source d'électricité.

Notre équipe doit pouvoir confirmer la faisabilité d'un tel produit tout en proposant une conception des différents mécanismes nécessaires au bon fonctionnement de celui-ci. On doit aussi assurer la sécurité lors de l'usage du produit qui doit pouvoir être approché par des enfants.

Cahier des charges

Notre broyeur de branches doit respecter les critères suivants :

- Être capable de broyer des branches de diamètre inférieur à 3cm
- Être entraîné par les bras ou les jambes
- Respecter des critères de sécurité de base
- Être mobile, transportable dans une voiture ou dans une remorque
- Déplaçable avec des roulettes
- Évaluer l'usure des lames et prévenir la casse

Etude du sujet

Plusieurs solutions existent d'ores et déjà sur le marché. Néanmoins ces solutions font usage d'un moteur thermique ou électrique leur permettant d'avoir un couple élevé. Dans notre cas, nous devons réfléchir à un moyen permettant de transformer la puissance des membres d'une personne en un couple suffisant au broyage de branche.

Nous nous concentrerons par la suite sur un système employant la motricité des jambes de l'utilisateur car nous estimons qu'il s'agit de la source de puissance la plus importante.

Les solutions techniques pour la coupe de branches sont les suivantes :

- **Lame tournante**

La lame tournante découpe le bois à l'aide de la rotation d'une lame correctement aiguisée à une vitesse importante (généralement autour des 2000tr/min). La lame tournante est constituée d'un disque et de deux lames accrochées à ce disque. La rotation de celle-ci permet de couper le bois à chaque demi-tour.

Dans notre cas, on remarque bien que ce système n'est pas viable. En effet, il est impossible pour nous d'induire une telle vitesse de rotation. On a trouvé sur internet que la vitesse de rotation de pédalage d'un humain est de 80 tr/min. Il faudrait avoir une multiplication par 25 de la rotation pour avoir un système qui fonctionne correctement. En ayant une telle multiplication le système risque de bloquer à la première introduction de branche dans le système.



Figure 1: Lame tournante

· Broyeur à rotor

Le broyeur à rotor est un système qui fait usage d'un rouleau constitué de 6 lames qui viennent s'enfoncer dans le bois quand celui-ci est bloqué par un plan. Il nécessite un fort couple pour fonctionner. Il présente aussi de gros risques de bourrage. Néanmoins il doit s'user relativement lentement. Il n'a pas besoin d'une vitesse de rotation élevée pour fonctionner.



Figure 2: Broyeur à rotor

Cette solution correspond bien plus à notre projet. On fait donc le choix de prendre cette solution mais de l'adapter à la puissance dont nous disposons. Pour cela, nous avons pu nous rendre en halle J1 afin de voir un système réalisé ici-même.

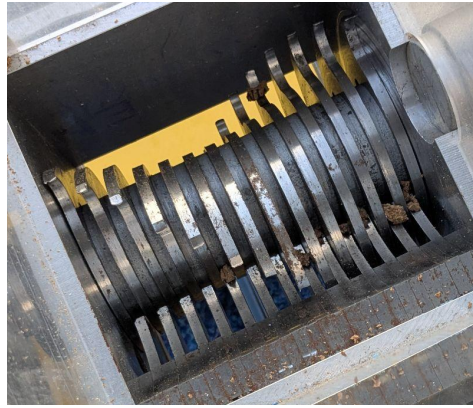


Figure 3: Broyeur Halle J1

Nous allons donc réutiliser ce système de couteau et de contre couteau afin de broyer le bois. En effet, on se rend compte ici que le risque de bourrage est réduit en comparaison du rouleau de base. De plus, ici les lames agissent dans le sens de la fibre du bois, ce qui facilite la découpe de celui-ci.

Sécateur

Le sécateur est une solution répandue, simple et manuelle. Il permet de tailler des branches de la taille que nous souhaitons. Il fait usage du bras de levier pour couper le bois. Le problème majeur est la vitesse de coupe du bois qui est extrêmement lente et nécessite que quelqu'un pousse le bois entre les lames.



Figure 4: Broyeur au sécateur

Développement du produit

1) Idée générale

Après réflexion de la part du groupe, nous avons décidé de nous inspirer de la technologie d'un broyeur à rotor tout en ajoutant des lames aiguisées afin de mieux pénétrer la fibre du bois lors du broyage. Nous avons par la suite schématisé notre idée en 3 sous-systèmes: la partie broyage, la partie transmission et la partie générale du dispositif:

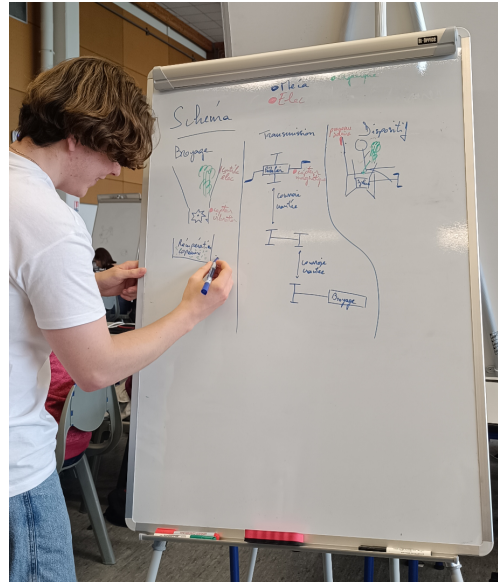


Figure 5: Schéma de principe du système

Nous avons donc utilisé des valeurs de puissance d'un cycliste lambda pour répondre à nos besoins. Nous avons établi une puissance de 150W et une rotation de 80 tr/min. Ces valeurs donnent un couple de 18Nm.

2) Conception mécanique

Dans un premier temps, intéressons-nous au dimensionnement du système de transmission.

Le dimensionnement mécanique du système commence ici par le choix d'un réducteur à engrenages. Afin d'obtenir un couple suffisant pour broyer des branches de diamètre 30mm (environ 200 Nm de couple nécessaire), nous avons opté pour deux liaisons d'engrenages en parallèle. Ce type de réducteur permet une réduction importante de la vitesse tout en transmettant un couple élevé avec dans notre cas un rapport global de réduction de $i = 1/12.25$. Cette réduction est obtenue grâce à deux étages de réduction de valeur $i = 1/3.5$, soit un nombre de dents sur nos pignons de 17 et 59. Le module retenu est de $m = 1.5\text{mm}$ et la largeur des pignons est de 9mm pour le premier étage et 15mm pour le deuxième. Chaque étage est conçu pour supporter les efforts transmis, en tenant compte des contraintes de flexion et de contact sur les dentures ainsi qu'un coefficient de sécurité adapté.

Cette réduction permet donc d'atteindre un couple avoisinant les 200 Nm cherchés.

Une fois les efforts transmis connus, on évalue leur impact sur les liaisons pivot du système. Les charges dynamiques maximales supportées par ces liaisons sont dans notre cas toujours inférieures à 0.88kN avec un coefficient de sécurité adapté. Le bon dimensionnement de ces éléments garantissant la durabilité du système et prévenant l'usure prématurée, nous avons opté pour des roulements à billes pour les liaisons du pédaaliers en raison de sa vitesse de rotation relativement élevée, le reste sera soutenu par des coussinets adaptés aux efforts calculés.

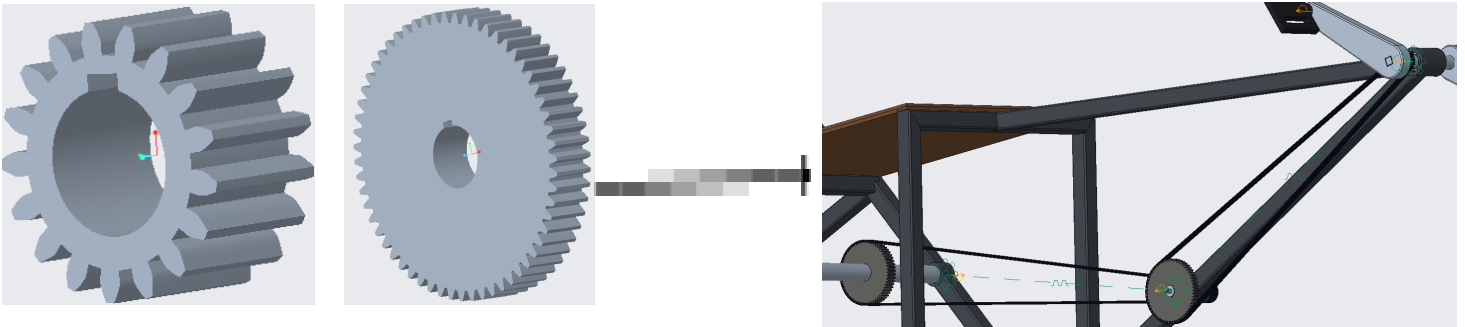


Figure 6: Transmission mécanique

Dans un second temps, on étudie le système de broyage du bois.

Comme dit précédemment, nous nous inspirons du système vu dans la halle J1. Le problème que nous avons observé est que la faible quantité de dents faisait sauter le bois entre chaque passage et donc celui-ci n'était pas entraîné dans la machine.

On commence donc par construire un couteau ayant plus de dents afin de toujours pouvoir accrocher le bois.

On a donc le couteau suivant :

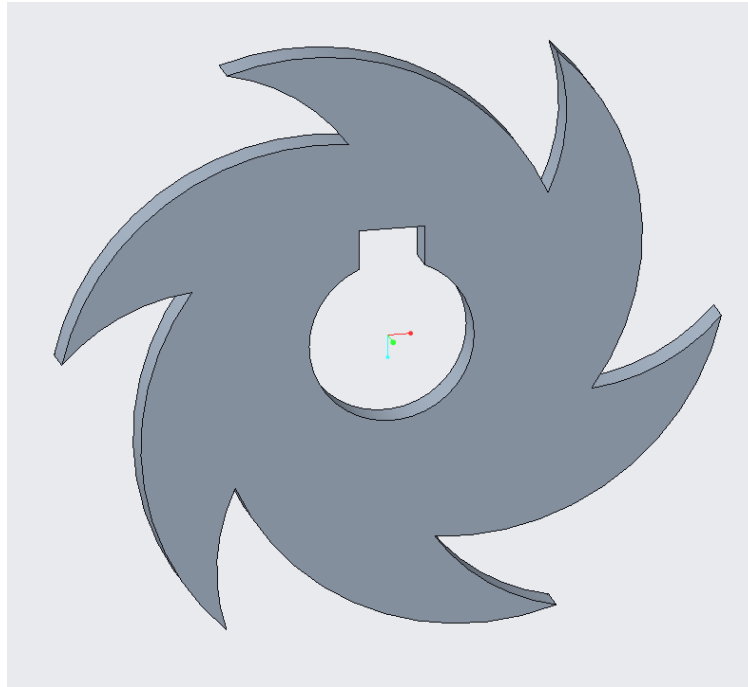


Figure 7: Couteau tranchant

A l'aide de ce couteau, on constitue un rouleau qui fait l'alternance d'un couteau et d'un disque. Nous avons effectué un indexage entre chaque couteau afin d'avoir les dents en quinconce pour optimiser l'arrachage du bois.

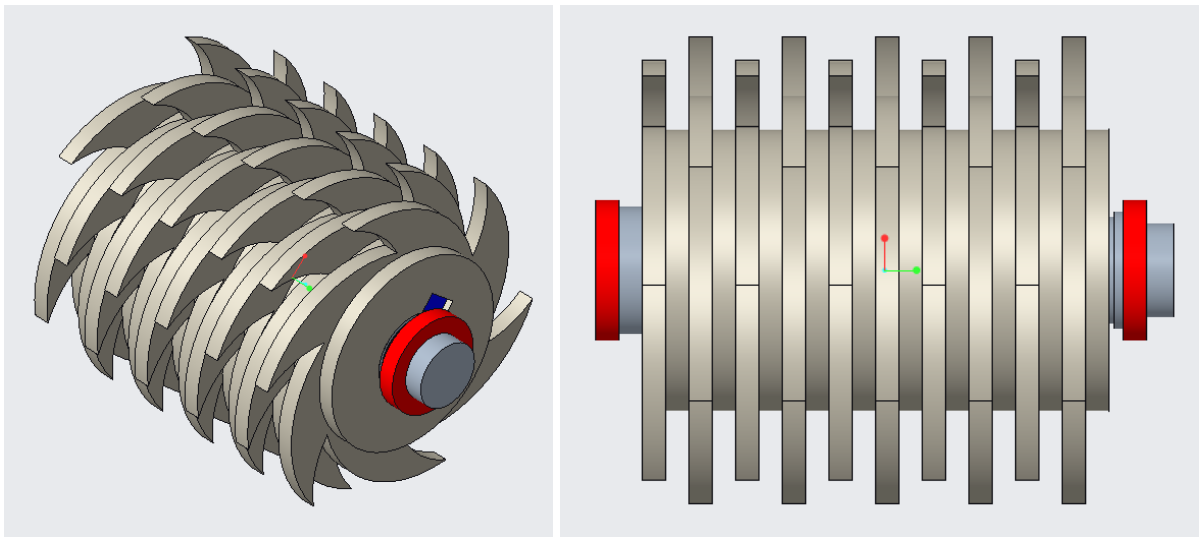


Figure 8 et 9: rouleau broyeur

Pour éviter le bouchage, nous avons suivi la solution de contre couteau. On a donc une dent qui vient contre le bois au niveau des disques intermédiaires. On a donc le bois qui va être pris dans des dents dans deux sens différents.

Cela donne donc la forme suivante :

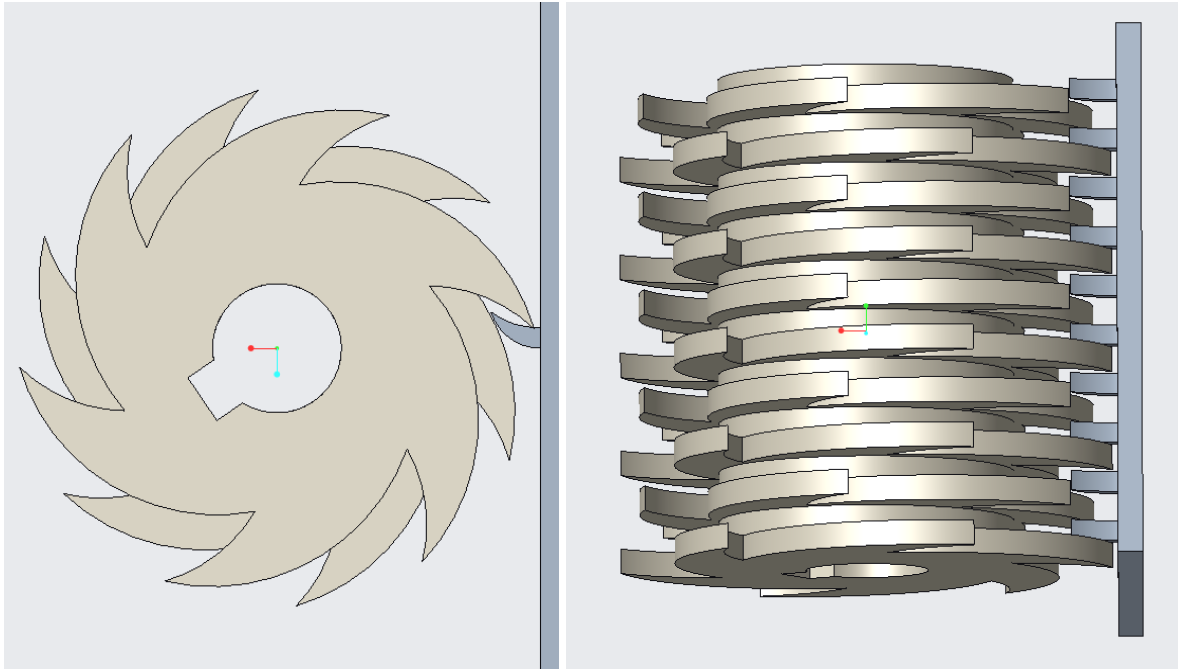


Figure 10 et 11: Système rouleau et contre couteau

Ce système est donc actionné par le système de transmission et produit les copeaux qui tombent en dessous.

3) Composants électroniques et fonctionnalités

Afin de moderniser le broyeur manuel présenté précédemment dans sa version mécanique, nous avons intégré un système de surveillance intelligent reposant sur des composants électroniques. Ce dispositif permet de suivre l'utilisation de la machine en temps réel, d'anticiper l'usure des éléments critiques, et ainsi d'optimiser sa maintenance. Cette approche s'inscrit pleinement dans une logique de durabilité et d'éco-conception, en prolongeant la durée de vie de l'appareil tout en facilitant son usage.

a. ESP32 Devkit v1

- Fonction : Microcontrôleur principal, collecte les données, gère l'affichage et peut communiquer via Bluetooth/Wi-Fi.
- Utilité : Centre de contrôle du système, permet de surveiller l'activité du broyeur.
- Emplacement : Placé dans un boîtier électronique fixé au cadre supérieur du broyeur.
- Prix moyen : 4 €

b. Capteur Hall (MAG1)

- Fonction : Détecte le passage d'un aimant sur le pédalier pour compter les cycles (rotations).
- Utilité : Permet d'estimer la durée d'utilisation et l'usure des lames.

- Emplacement : Fixé près du pédalier, avec un petit aimant collé sur la pédale.
- Prix moyen : 1,5 €

c. Capteur de Vibration

- Fonction : Détecte les vibrations anormales pouvant signaler un problème mécanique.
- Utilité : Protection préventive contre les pannes.
- Emplacement : Fixé sur le châssis près de la zone de broyage.
- Prix moyen : 1,2 €

d. Écran LCD graphique PG12864F

- Fonction : Affiche les informations : nombre de cycles, durée d'utilisation, usure estimée.
- Utilité : Interface utilisateur simple, permet une maintenance prédictive.
- Emplacement : Intégré dans un boîtier en face avant, protégé contre la poussière.
- Prix moyen : 5 €

e. Panneau solaire 6V

- Fonction : Fournit de l'énergie renouvelable pour recharger la batterie.
- Utilité : Autonomie énergétique, faible empreinte carbone.
- Emplacement : Monté sur le dessus du broyeur ou dans un angle bien exposé au soleil.
- Prix moyen : 3 €

f. Batterie Li-ion 3.7V

- Fonction : Stocke l'énergie pour alimenter le système en continu.
- Utilité : Permet le fonctionnement même sans soleil.
- Emplacement : Dans le boîtier électronique, avec un support ventilé.
- Prix moyen : 3 €

g. Régulateur de tension MCP1825S

- Fonction : Régule la tension à 3.3V pour les composants sensibles.
- Utilité : Préserve les composants de surtension.
- Emplacement : Entre batterie et ESP32.
- Prix moyen : 0.5 €

- h. Module TP4056 avec protection
- Fonction : Charge en sécurité une batterie Li-ion 3.7V à partir du panneau solaire.
 - Utilité : Assure un rechargement fiable et protégé.
 - Emplacement : Dans le boîtier principal électronique.
 - Prix moyen : 1 €
- **Durabilité et intégration:** Tous les composants sont choisis pour leur faible consommation, leur compacité, et leur robustesse. Ils sont montés sur des supports amovibles, facilitant le remplacement et la maintenance. L'ensemble est conçu pour être recyclable et réparable facilement, en ligne avec les principes de l'éco-conception.
- **Coût total estimé:** Environ **18 €** pour l'ensemble des composants électroniques.
- **Conclusion** L'intégration de capteurs et de commande intelligente permet de transformer un broyeur manuel en outil connecté, durable et intelligent. Cela encourage un usage responsable, limite les déchets (grâce à la maintenance préventive), et améliore l'efficacité d'utilisation.

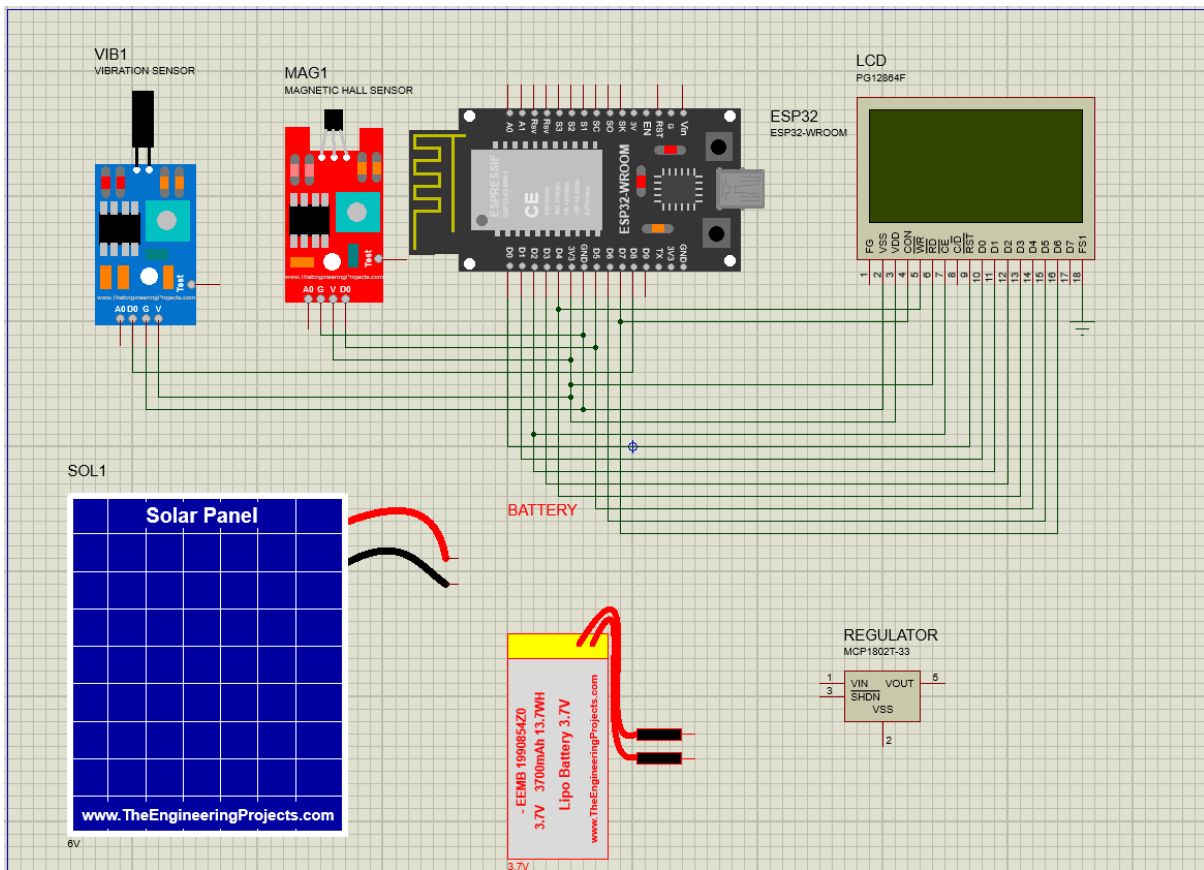


Figure 12: Système électronique

Conception finale

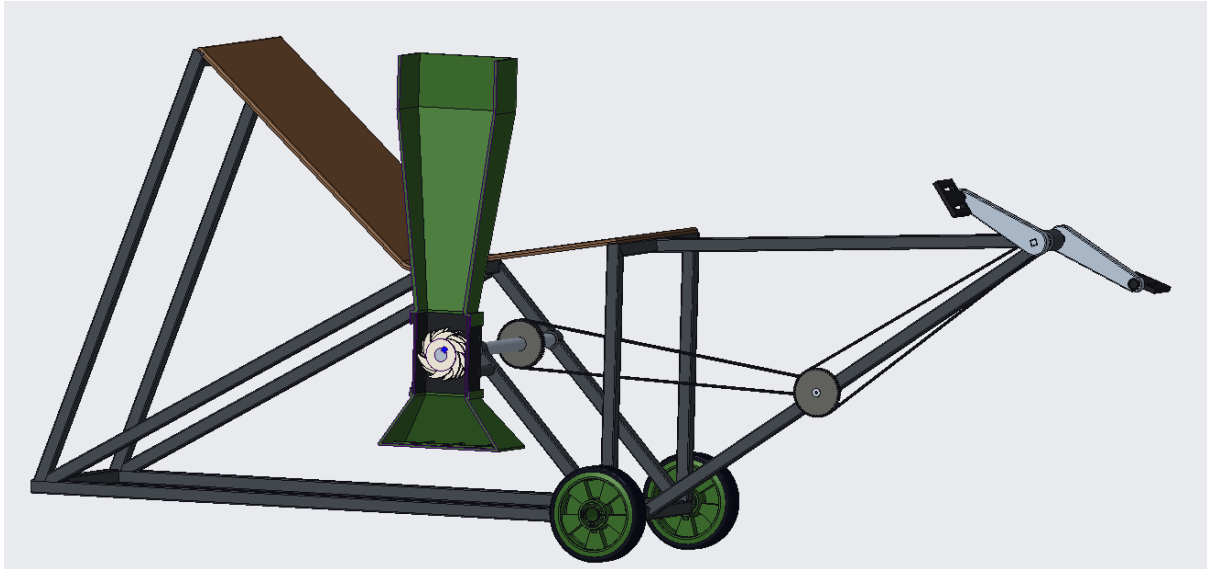


Figure 13: Broyeur à branche

Nous avons donc durant ces 3 jours de crunch réalisé une CAO complète de notre système de broyage manuel.

On remarque plusieurs assemblages sur notre système. Premièrement nous avons construit une assise simple à l'aide de tube et de plaque. Celle-ci est reliée au pédalier sur lequel nous avons installé la transmission de puissance. Celle-ci est ensuite reliée au système de broyage.

Les roues permettent de déplacer facilement notre système complet. De plus, celui-ci ne pèse que 25kg et fait 1.7m de long, 84cm de haut et 70cm de large. Il rentre donc dans une remorque.

Etude du prix

- La tôle nécessaire nous reviendra à un prix de 20€ pour la fabrication de nos lames. Les lames sont réalisées à moindre coût à l'aide d'un emboutissage de celle-ci.
- Le système de transmission comprenant les pignons et les courroies crantées reviendrait à un coût de 150€.
- Les tubes et la plaque nécessaires à la fabrication du châssis et de l'assise reviendraient à 120€.
- Le pédalier quant à lui ne coûterait que 15€.
- Les pièces de liaisons ne devrait coûter que 15€.
- L'électronique reviendrait à 20€.

Avec l'addition de tous ces coûts on aurait donc un broyeur manuel au prix de 340€ hors système électronique. La majeure partie de ces coûts est réductible en effectuant de la récupération de pièces plutôt que de l'achat de pièces neuves.

L'intégration d'un système électronique augmenterait le coût de 18€.

Néanmoins un broyeur électrique neuf est trouvable au prix de 170€. Il sera donc difficile de produire un tel système en ayant un coût inférieur à ceux disponible sur le marché.

Conclusion

En conclusion, notre système semble réalisable dans les faits. Néanmoins, la contrainte de prix et d'efficacité de ce système ne le rend pas commercialisable.

Pour aller plus loin, nous devrions approfondir la CAO afin de concevoir un système réalisable et montable en kit. Nous devrions aussi trouver un moyen de réduire les coûts de notre système afin d'en faire une véritable alternative aux broyeurs motorisés.