

## **TP**

### **Cinétique du concasseur (à mâchoire)**

#### **Introduction**

Dans cet article on va s'occuper du mécanisme des concasseurs à mâchoire. Deux questions vont être étudiées :

- l'efficacité énergétique du fonctionnement des mécanismes classiques (chaînes cinématiques à éléments rigides et l'utilisation du volant comme accumulateur mécanique d'énergie);
- la possibilité de modifier le schéma cinématique en modifiant la transmission mécanique par une transmission élastique.

Après l'analyse structomatique, cinématique, ciné-tostatique et dynamique de quelques mécanismes usuels, on va introduire dans le circuit un moteur résonant pour l'entraînement du concasseur.

#### **Définition (généralités)**

Un concasseur est une machine conçue pour réduire les grosses roches en petites pierres, gravier, ou poussière de roche. Les concasseurs peuvent être utilisés pour réduire la taille ou changer la forme des déchets afin qu'ils puissent être plus facilement éliminés ou recyclés.

Ils peuvent également réduire la taille d'un mélange solide de matières premières (comme le minerai), de sorte que ses différents composants puissent être séparés. Le concassage est le processus d'application d'une force, amplifiée par avantage mécanique, à l'aide d'un matériau dont les molécules sont liées plus solidement et résistent mieux à la déformation que celles du matériau à concasser.

Les appareils de concassage retiennent le matériau entre deux surfaces solides parallèles ou tangentes, et appliquent une force suffisante pour rapprocher ces surfaces, générant suffisamment d'énergie dans le matériau

pour que les molécules se séparent (fracturation), ou changent d'alignement les unes avec les autres (déformation) .

Les premiers concasseurs étaient des pierres, frappées contre une enclume de pierre, le poids de la pierre aidant la force musculaire. Les meules et les mortiers sont des appareils de concassage de ce type.

## Typologie

Dans le processus de concassage, la matière peut être concassée plusieurs fois de suite .On qualifie alors le concassage selon la taille des parties qui en résultent :

**Concassage de pierre** : jusqu'à 100 millimètres

**Concassage secondaire** : jusqu'à 25 millimètres

**Concassage tertiaire** : jusqu'à 5 millimètres



**Concassage mécanique de résidus de démolition d'un bâtiment.**



**Quelque exemple pour le concasseur.**

## **Concasseur à mâchoires**

Le concasseur à mâchoire est une machine à broyer des roches (granite, calcaire, etc.) généralement à des fins industrielles, vu que la roche est la matière première par excellence de quasiment toutes les industries (métallurgie minière, etc.)

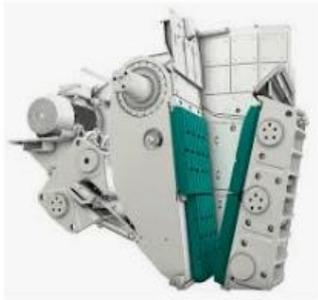
L'appellation « à mâchoire » est due au dispositif de concassage, qui reprend le principe de base d'une mâchoire, avec une paroi fixe et un autre mobile, la roche étant coincée entre les deux.

La partie mobile est entraînée en rotation par une bielle (excentrique) qui assure la rotation de la mâchoire. Le ressort de rappel à sa base permet de ramener la mâchoire afin de laisser passer les matériaux broyés.

Ce concasseur associe donc deux mouvements. Un mouvement de compression (de gauche à droite) afin de concasser le granulat et un mouvement de friction (du haut vers le bas) afin de faire descendre les matériaux vers le convoyeur de réception des matériaux broyés.

Les débits de telles machines sont conditionnés par leur taille d'ouverture et le réglage côté fermé à la base des mâchoires, là où sortent les matériaux.

Les mouvements répétitifs de la partie mobile, entraînés généralement par un moteur et une courroie, brisent la roche en petites pierres, la transformant en un produit fini commercialisable pour la fabrication du béton de construction, voire de route et autres applications.



### Exemples pour concasseurs a mâchoire.

Le concasseur à mâchoire reste de très loin le concasseur le plus populaire dans le monde, grâce à sa conception rudimentaire, sa fiabilité, sa maintenance peu coûteuse et ne nécessitant pas de grandes notions d'ingénierie.

## Analyse du mécanisme du concasseur à mâchoire

Considérons le concasseur à mâchoire double **toggle** représenté dans la figure 01 suivante dont les dimensions géométriques sont données dans le tableau 01 des dimensions.

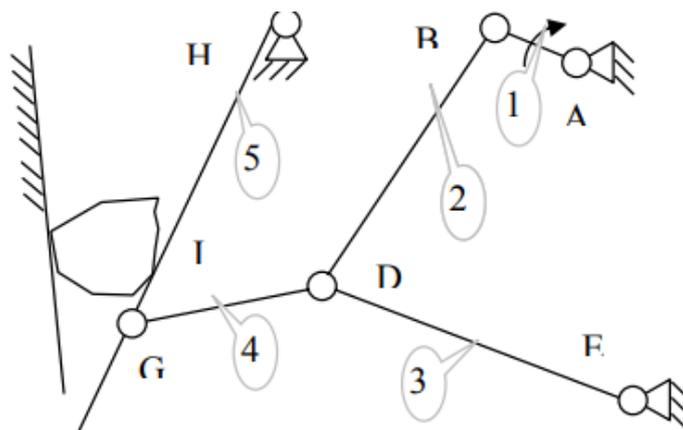


Fig01 : Concasseur à mâchoire double toggle.

Pour ce qui est de la circulation de l'énergie, le réseau mécanique n'est pas décomposable dans ce sens qu'on ne peut pas mettre en évidence des modules énergétiques. La transmission de l'énergie suit un chemin plus compliqué et jusqu'à date seule l'approche globale a été employée. Cependant, l'approche modulaire reste un outil de plus grand intérêt puisque dans les équations de mouvement on utilise non pas les vitesses réelles mais des fonctions de transmission des vitesses qui en fait sont des expressions qui dépendent uniquement de position.

L'équation matricielle de mouvement d'un robot parallèle plan est [8, 9, 7] :

$$\ddot{q} = \left( \sum_{k=1}^m V_k^T M_k V_k \right)^{-1} \left( \sum_{k=1}^m V_k^T U_k - \sum_{k=1}^m V_k^T M_k A_k D(\dot{q}) \dot{q} \right) = \Psi(t, q, \dot{q})$$

**→ Dans cette équation :**

- $M_k$  est la matrice d'inertie;
- $U_k = U_k(t, q, \dot{q})$  est la matrice des forces appliquées sur l'élément  $k$ ;
- $D(\dot{q})$  est une matrice  $M^2 \times M^2$  dont la diagonale contient  $M$  fois la matrice  $q^*$  ( $M$  le degré de mobilité);
- $V_k$  et  $A_k$  sont les matrices fonctions de transmission des vitesses et des accélérations qui pour les mécanismes plans sont liées aux positions ( $P_k = [x_k \ y_k \ \phi_k]$ ), vitesses ( $v_k$ ) et accélérations ( $a_k$ ), par les expressions [9, 4] :

$$v_k = \begin{bmatrix} v_{kx} & v_{ky} & \phi_k \end{bmatrix}^T = \frac{dP_k}{dt} = V_k \dot{q} = \begin{bmatrix} \frac{\partial x_k}{\partial q_1} & \dots & \frac{\partial x_k}{\partial q_M} \\ \frac{\partial y_k}{\partial q_1} & \dots & \frac{\partial y_k}{\partial q_M} \\ \frac{\partial \phi_k}{\partial q_1} & \dots & \frac{\partial \phi_k}{\partial q_M} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{q}_1 \\ \vdots \\ \dot{q}_M \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial P_k}{\partial q_1} & \dots & \frac{\partial P_k}{\partial q_M} \end{bmatrix} \dot{q}$$

$$a_k = \frac{d}{dt} (V_k \dot{q}) = \frac{dV_k}{dt} \dot{q} + V_k \ddot{q} = A_k D(\dot{q}) \dot{q} + V_k \ddot{q}$$

Pour le calcul des éléments des matrices  $A_k$ ,  $V_k$  il faut effectuer l'analyse cinématique du mécanisme pour des valeurs arbitraires des vitesses et des accélérations généralisées. Plus précisément, on a  $3M$  inconnues dans la matrice de transmission de vitesses et  $3M(M + 1)/2$  inconnues dans la matrice de transmission d'accélération donc il faut écrire l'équation matricielle de vitesse  $M$  fois et l'équation matricielle d'accélération  $M(M + 1)/2$  fois et par identification obtenir la solution. L'algorithme comprend donc les pas suivants :

- l'analyse **struc-tomatique** du mécanisme
- l'analyse **cinématique** pour une suite de valeurs des vitesses et des accélérations généralisées arbitraires (analyse cinématique virtuelle);
- au besoin, l'analyse **ciné-tostatique**.

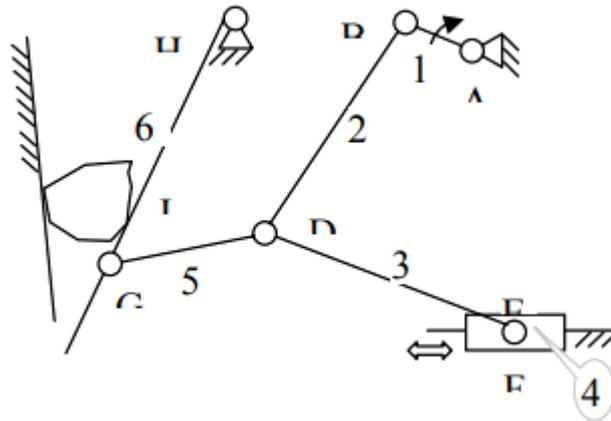
## Analyse dynamique

Les mécanismes uni-mobiles utilisés dans la construction des concasseurs à mâchoires ont un désavantage majeur : la quantité d'énergie nécessaire pour un cycle dynamique doit être emmagasinée dans le volant et s'il arrive que le processus a besoin de plus d'énergie que le travail nécessaire pour vaincre les résistances, alors la machine s'arrête avec tous les inconvénients que ça peut occasionner.

Il serait intéressant d'imaginer un dispositif qui puisse :

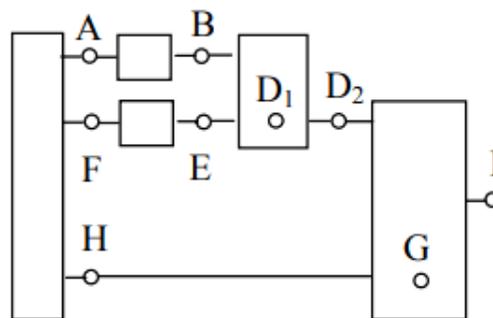
- Emmagasiné une quantité d'énergie,
- Libérer cette énergie au besoin,
- Être élastique dans ce sens que l'énergie non utilisée dans un cycle s'ajoute au cycle suivant jusqu'à ce que la résistance soit vaincue et la machine soit protégée contre la destruction.

Pour ce faire on va augmenter le degré de mobilité du mécanisme en lui ajoutant un moto-élément résonant figure 3.



**Fig03 : Concasseur à mâchoire à deux degrés de mobilité.**

Ceci nous amène au schéma structomatique représenté figure 4. On peut traiter les moto-éléments :



$$Z(0)+[ME(1)+ME(4)]+D(2,3)+D(6,5)$$

**Fig04 : Représentation multipolaires du concasseur à deux degrés de mobilité.**

Le moto-élément résonant est constitué des des parties suivantes (figure 5) :

- une masse M qui se trouve entre les ressorts R1 et R2 et qui oscille sous l'influence d'une pression alternative p,
- un accumulateur K,
- une source de vibrations alternatives en S,
- un fluide sous pression p et à un débit alternatif q.

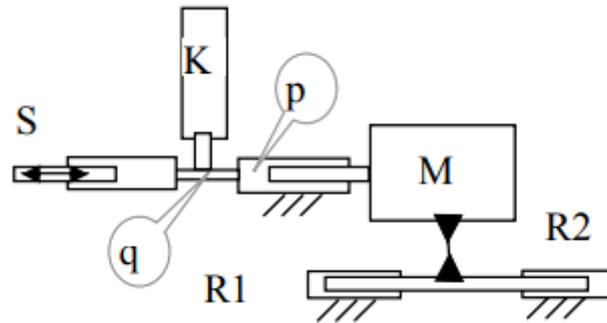


Fig05 : Motoélément résonant.

L'équation différentielle de mouvement du fluide [11, 5] est :

$$p = M \frac{dq}{dt} + \frac{1}{K} \int q \cdot dt$$

Où  $q$  est le débit dans la ligne de transmission et avec :  $p = P \sin(\omega t + \phi)$ ,  $\phi = \omega t$  et à la résonance ( $MK\omega^2 = 1$ ) la solution est [3, 5, 11] :

$$q = MK\omega/2 \cdot [\sin\phi \sin\phi + \phi \sin(\phi + \phi)]$$

L'énergie moyenne emmagasinée dans le système est :

$$[5] U_{\text{moy}} = P^2 \bar{K} \phi^2 / 8 = KP^2 t^2 / 8 = P^2 t^2 / (8M)$$

La conclusion est que l'énergie accumulée dans un résonateur s'accroît avec le carré du temps donc le résonateur est un accumulateur très efficace. On voit donc, que le résonateur est le dispositif idéal pour être inséré dans le circuit mécanique d'un concasseur puisqu'il correspond aux conditions imposées.

## Conclusion

Les concasseurs actuellement sur le marché [1, 2, 6] sont des machines pesantes à cause des forces qu'ils développent et à cause du volant. Le volant en mouvement de rotation est un accumulateur non efficace d'énergie cinétique donc le remplacer avec un autre montage a comme conséquence la réduction de la taille de la machine, chose très importante, surtout pour les concasseurs

mobiles. De plus, le volant est un dispositif non élastique dans chaîne de la transmission de mouvement.

Le remplacement du volant avec un moto-élément en vibration longitudinale alimenté avec des ondes de pression harmoniques conduit à la réalisation d'un circuit mécanique résonant. En variant la fréquence de l'excitation, la masse et la capacité de l'accumulateur on peut obtenir des caractéristiques adaptées aux diverses dimensions de machines et aux diverses conditions de travail. Les masses en vibration peut être fait du lest (eau, concassé, etc.) et la capacité peut à la rigueur être constituée d'un conteneur rempli d'eau. Dans ces conditions, la masse totale de la machine en état de transport est réduite.

De plus, puisqu'il n'y a pas le danger de calage du moteur d'actionnement (que se soit électrique ou thermique) la taille du moteur peut être réduite. Le dispositif n'a pas besoin d'un couple de démarrage élevé ce qui permet encore la réduction de la puissance installée.