

Master 1 Génie des Procédés des Matériaux

Cours Operations unitaires II

Rappels de thermodynamique

Chapitre 1 : Procédés d'agglomération et de fragmentation des solides

Chapitre 2 : Opérations d'humidification

Chapitre 3 : Séchage et Evaporation

Chapitre 4 : Tours de contact gaz-liquide

Chapitre 5 : Séparation Solide-Liquide

Année universitaire 2023/2024

Réalisé par S. TOUZOUIRT

CHAPITRE 1: FRAGMENTATION ET AGGLOMERATION DES SOLIDES

1. Fragmentation des solides

1. Définition
2. Principe de la fragmentation
3. Broyage
 1. Définition
 2. Opération de broyage
4. Appareils de broyage
 1. Appareils de laboratoire
 2. Appareils utilisés dans l'industrie
5. Séparation des solides (tamisage)

II. Agglomération des solides

1. Définition
2. Intérêt
3. Procédés d'agglomération
 1. Agglomération par accumulation ou par granulation
 2. Agglomération par compression
 3. Agglomération par enrobage



CHAPITRE 1: FRAGMENTATION ET AGGLOMERATION DES SOLIDES

I. Fragmentation des solides (fragmentation of solids)

1. Définition

La fragmentation mécanique des solides peut se définir comme l'ensemble des opérations (concassage, broyage,.....)(**crushing, grinding**) ayant pour but de réaliser, grâce à l'application des contraintes (**Stress**) mécaniques externes soit la division d'une masse solide en fragments de dimension maximale déterminée ; Soit la réduction d'une masse solide déjà fragmentée jusqu'à obtention des éléments de plus petit volume.

Objectif :

- la facilité de la manutention et du conditionnement des solides
- faciliter des réactions physico-chimiques ou chimiques, degré de division des matières solides.



CHAPITRE 1: FRAGMENTATION ET AGGLOMERATION DES SOLIDES

I. Fragmentation des solides

1. Principe de la fragmentation

La fragmentation s'obtient par rupture de la cohésion des corps solides sous l'action de forces externes qui peuvent être appliquées sous l'une des formes suivantes :



Coup / choc
blow or shock



Trituration



Coupage



Cutting



CHAPITRE 1: FRAGMENTATION ET AGGLOMERATION DES SOLIDES

I. Fragmentation des solides

1.3. Broyage *Grinding*

a) Définition

Le broyage est une opération unitaire visant à fragmenter un matériau pour en réduire la taille afin de lui donner une forme utilisable ou d'en séparer les constituants. À cette fin, le matériau est soumis à des sollicitations mécaniques qui entraînent une augmentation de son énergie libre.

b) Opération de broyage

Avant de réaliser le broyage, nous devons tout d'abord vérifié le taux de réduction ainsi que l'énergie de broyage nécessaire.



CHAPITRE 1: FRAGMENTATION ET AGGLOMERATION DES SOLIDES

I. Fragmentation des solides

- ✓ **Taux de réduction (Rapport de réduction):** *reduction rate*

c'est le rapport des dimensions moyennes avant et après fragmentation.

Le taux de réduction varie de **5 à 100 environ**.

$$n = D/d \quad ;$$

- ✓ **Energie de broyage**

$$E = k (1/d - 1/D) \quad ; \quad k \text{ dépend du produit et du broyeur.}$$



CHAPITRE 1: FRAGMENTATION ET AGGLOMERATION DES SOLIDES

I. Fragmentation des solides

1.4. Appareils de broyage

1.4.1. Appareils de laboratoire

Tamis et cribles
sieve and screen



Mortier/ *Mortar*

Porphyre/ *porphyry*

Broyeur à hélice
propeller crusher

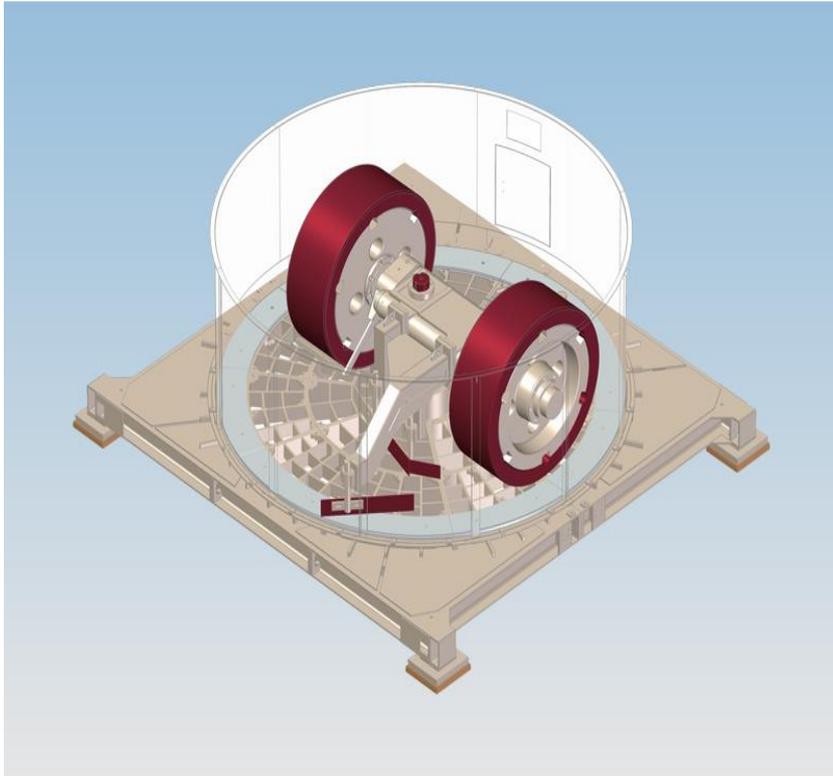


CHAPITRE 1: FRAGMENTATION ET AGGLOMERATION DES SOLIDES

I. Fragmentation des solides

1.4.2. Appareils utilisés dans l'industrie

- ✓ **Broyeurs à meules** : les meules se composent de deux cylindres lourds fabriqués en fonte d'acier, ou de granite. Ils tournent horizontalement ou verticalement avec une vitesse de 8 à 15tr/min et une capacité de 380 à 650Kg/h.

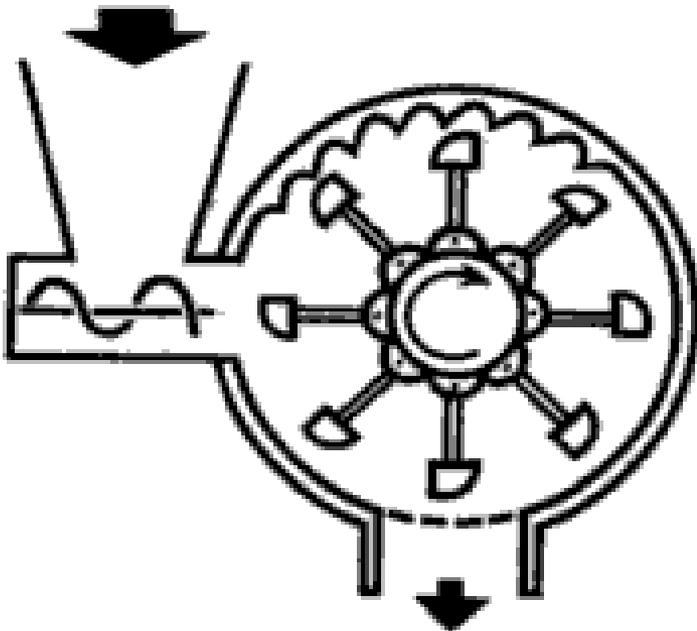


CHAPITRE 1: FRAGMENTATION ET AGGLOMERATION DES SOLIDES

I. Fragmentation des solides

1.4.2. Appareils utilisés dans l'industrie

- ✓ **Broyeur à marteaux / *Hammer Crusher*** : L'axe de rotation porte des bras articulés en métal lancés à très grande vitesse (500 à 1000tr/min) ces marteaux viennent frapper les parois de l'enceinte cylindrique en pulvérisant la substance à broyer



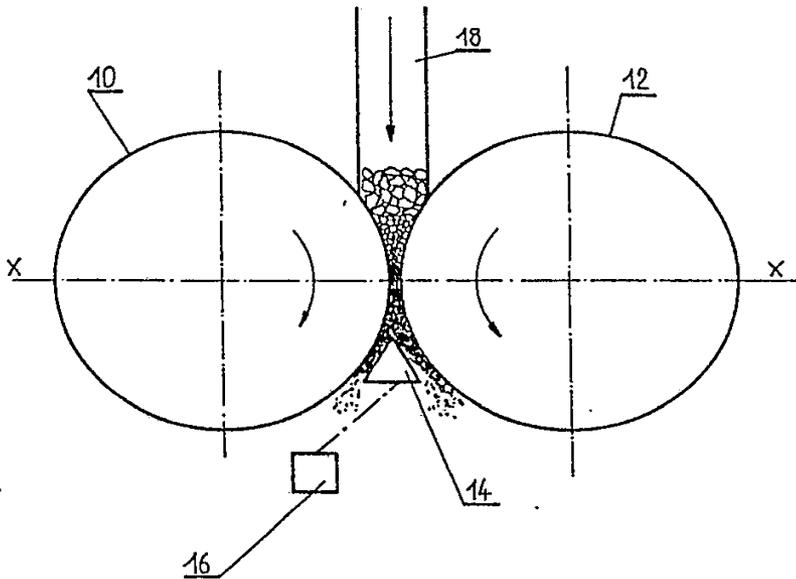
CHAPITRE 1: FRAGMENTATION ET AGGLOMERATION DES SOLIDES

I. Fragmentation des solides

1.4.2. Appareils utilisés dans l'industrie

✓ Broyeurs à cylindres / *Roll Mills*:

Les substances sont entraînées et écrasées dans l'intervalle qui les sépare.
Dans le cas de deux cylindres lisses, l'un d'eux tourne plus vite que l'autre.



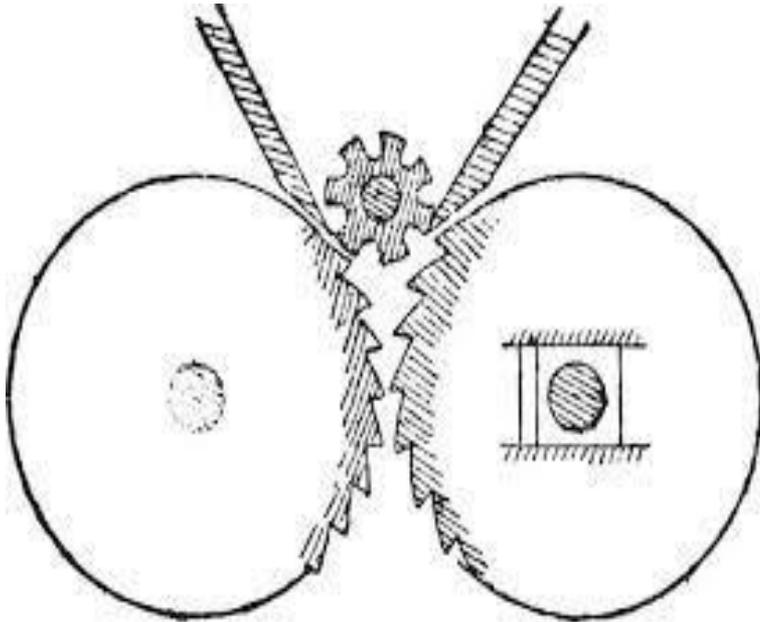
BROYEURS A CYLINDRES LISSES

CHAPITRE 1: FRAGMENTATION ET AGGLOMERATION DES SOLIDES

I. Fragmentation des solides

1.4.2. Appareils utilisés dans l'industrie

- ✓ **Broyeurs à cylindres :** La grosseur des particules est réglée par l'écartement des deux cylindres dont les cannelures viennent s'emboîter en tournant. Les substances sont entraînées et écrasées dans l'intervalle qui les sépare. Dans le cas de deux cylindres lisses, l'un deux tourne plus vite que l'autre.



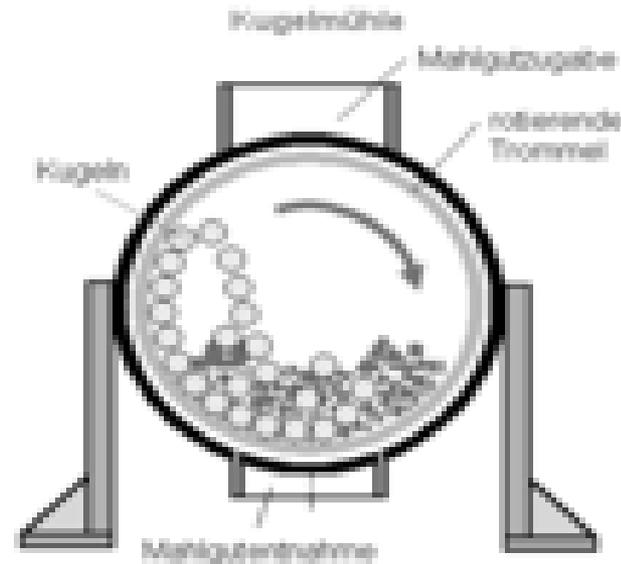
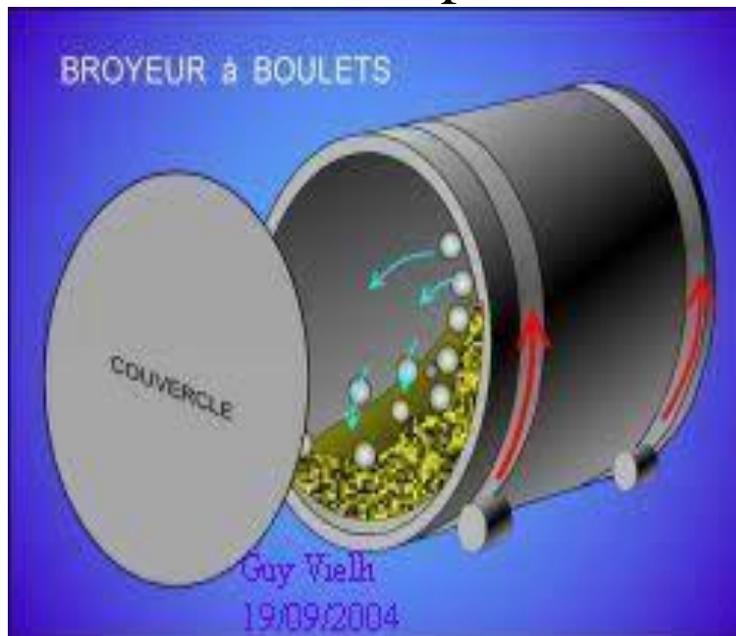
BROYEURS A CYLINDRES CANNELES

CHAPITRE 1: FRAGMENTATION ET AGGLOMERATION DES SOLIDES

I. Fragmentation des solides

1.4.2. Appareils utilisés dans l'industrie

- ✓ **Broyeurs à boulets et Broyeurs planétaire à boulets/ *Ball mills*** : Constitués par des récipients cylindriques ou sphériques, en métal ou en porcelaine. Le produit à pulvériser est placé à l'intérieur de ces récipients avec un nombre convenable de boules de métal ou de porcelaine.

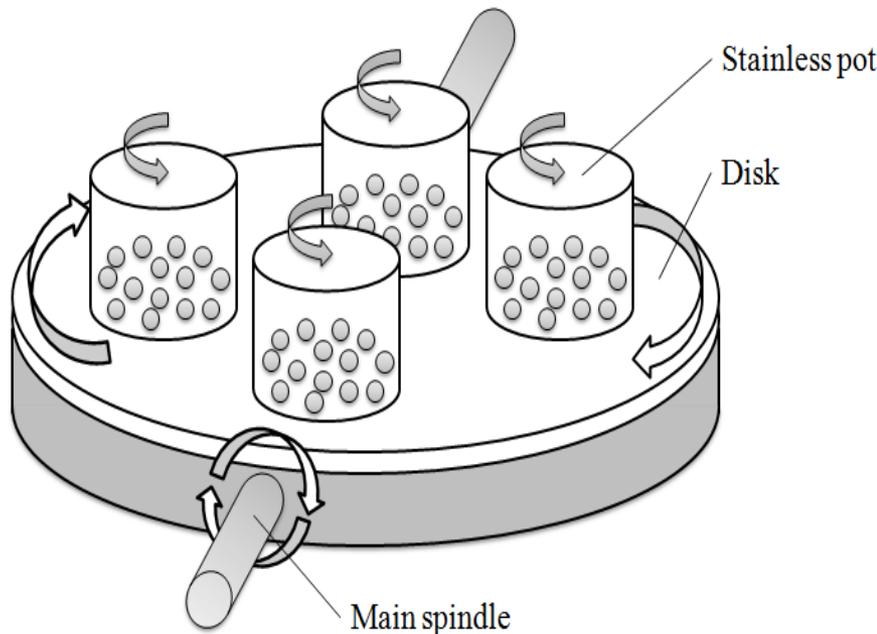


CHAPITRE 1: FRAGMENTATION ET AGGLOMERATION DES SOLIDES

I. Fragmentation des solides

1.4.2. Appareils utilisés dans l'industrie

- ✓ **Broyeurs à boulets et Broyeurs planétaire à boulets /Ball mills:**
L'avantage de ces broyeurs c'est que l'opération se faisant en vase clos, il n'y a pas dissémination de poussière dans l'atmosphère; en plus ils permettent de réaliser simultanément le broyage et le mélange de plusieurs substances.



CHAPITRE 1: FRAGMENTATION ET AGGLOMERATION DES SOLIDES

I. Fragmentation des solides

1.5. Séparation des solides (tamisage)

Généralement, après le broyage, une poudre doit subir un tamisage pour séparer les particules trop grosses des plus fines.

Plusieurs méthodes peuvent être utilisées pour l'analyse granulométrique des particules selon les tailles :

- Tamisage : supérieur à 80 μm
- Sédimentométrie : 1 μm à 80 μm
- Centrifugation analytique: 0,01 μm à 20 μm
- Diffraction laser : 0,01 μm à 3 mm
- Microscopie : 50 μm à 1 mm
- Potentiel Zêta : 3 nm à 10 μm



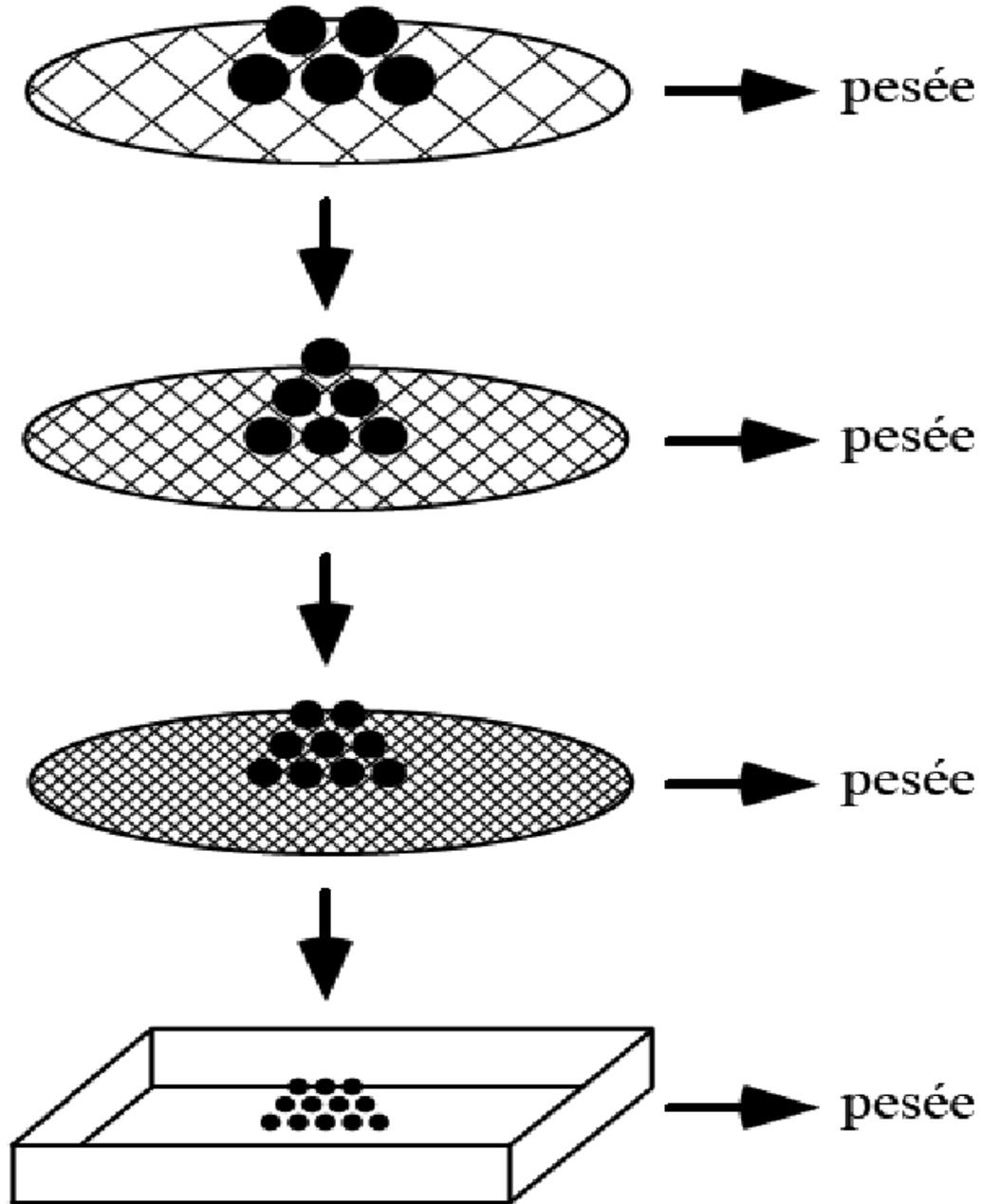
CHAPI

I.

SOLIDES



tamis de plus en plus fins



CHAPITRE 1: FRAGMENTATION ET AGGLOMERATION DES SOLIDES

II. Agglomération des solides

II.1 Définition

Le terme agglomération, ou granulation désigne le processus d'agrandissement des grains de matières solides. Des particules fines et pulvérulentes sont assemblées en éléments de taille supérieure.



CHAPITRE 1: FRAGMENTATION ET AGGLOMERATION DES SOLIDES

II. Agglomération des solides

2. 2. Intérêt

- amélioration des caractéristiques d'écoulement,
- réduction de la production de poussière
- obtention d'une forme, taille, porosité, solidité voulue, etc.
- Une diminution du taux de « fines » (de diamètre inférieur à 0,1 mm) ;
- Une augmentation de la mouillabilité, une meilleure aptitude à la dispersion et à la dissolution dans un solvant



CHAPITRE 1: FRAGMENTATION ET AGGLOMERATION DES SOLIDES

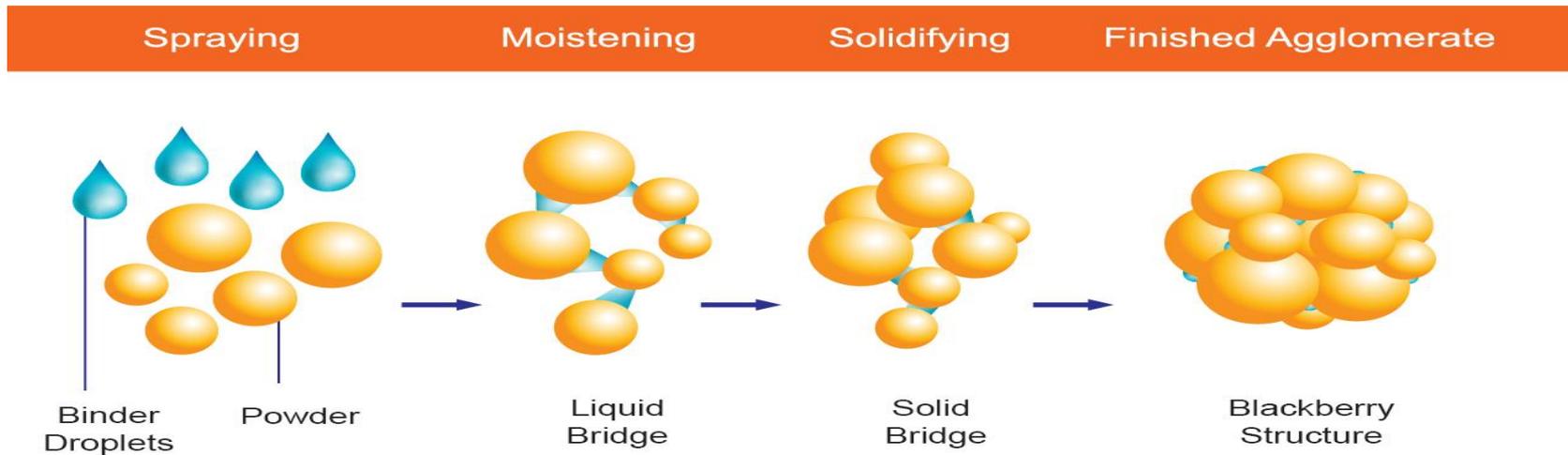
II. Agglomération des solides

2. 3. Procédés d'agglomération

On distingue notamment les procédés d'agglomération suivants:

✓ **Agglomération par accumulation ou par granulation**

Des particules mobiles s'agglomèrent pour former des éléments de plus grande taille.



CHAPITRE 1: FRAGMENTATION ET AGGLOMERATION DES SOLIDES

II. Agglomération des solides

2. 3. Procédés d'agglomération

On distingue notamment les procédés d'agglomération suivants:

✓ Agglomération par compression

Un agglomérat est formé en soumettant une matière solide pulvérulente à des pressions externes. Pour la fabrication de pastilles, la poudre est compactée par un poinçon. Une autre application est la presse à cylindres, qui fait appel à deux cylindres lisses (pour l'obtention d'agglomérats irréguliers) ou à des cylindres présentant des renforcements (pour l'obtention de briquettes ou autres formes)



CHAPITRE 1: FRAGMENTATION ET AGGLOMERATION DES SOLIDES

II. Agglomération des solides

2. 3. Procédés d'agglomération

On distingue notamment les procédés d'agglomération suivants:

✓ Agglomération par enrobage/ *Agglomeration by coating*

C'est la croissance des particules par couche, l'enrobage des particules implique le mouillage par une solution dont la composition et le comportement permettent un dépôt régulier et progressif des gouttes à la surface des particules et une adhésion minimale entre particules pour éviter l'agglomération. Le séchage est indispensable comme étape intermédiaire lorsqu'on opère par grossissement progressif, et comme étape finale avant refroidissement

