

## Les silos – 4.3 Comportements de la matière ensilée (3/3)

*Ce texte est la troisième (et dernière) partie du quatrième article dans une série sur les silos en général et plus particulièrement les silos métalliques. Après les trois premiers articles d'introduction générale, de la présentation des éléments principaux et de la géométrie, puis les différents comportements et caractéristiques de la matière ensilée, nous abordons les actions de la matière ensilée sur la structure.*

*Pour rappel, nous avons publié sur métalétech :*

- [Les silos #1 – Introduction générale](#)
- [Les silos #2 – Les éléments principaux](#)
- [Les silos #3 – La géométrie](#)
- [Les silos # 4 – 4.1 Comportements de la matière ensilée \(1/3\)](#)
- [Les silos #4 – 4.2 Comportements de la matière ensilée \(2/3\)](#)

On utilisera de préférence les termes des Eurocodes :

- NF EN 1991-4 :2006 – Actions sur les structures – Silos et réservoirs
- NF EN 1993-4-1 :2007+A1 – Calcul des structures en acier - Silos

### Généralités

Ce texte est la suite des parties [4.1](#) et [4.2](#). Il traite des actions « localisées », introduites dans l'Eurocode pour représenter les actions résultant des excentricités faibles ou non planifiées lors du remplissage ou de la vidange d'un silo.

#### **Rappel de quelques notions essentielles :**

- Par « symétrique » il faut comprendre « symétrique par rapport à l'axe verticale du silo » ;
- L'Eurocode utilise le terme « asymétrie accidentelle ». Nous emploierons ici le terme « excentrement non planifié » afin qu'il n'y ait pas de confusion avec les combinaisons accidentelles selon l'EN 1990 ;
- La limite pour un grand excentrement est définie à  $e > 0,25 d_c$ , où  $e$  est la distance entre l'axe central vertical du silo et :
  - pour le remplissage : le point de chute de la matière ;
  - pour la vidange : l'axe de l'orifice de vidange.

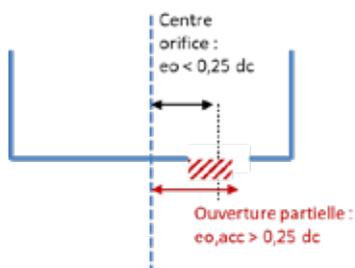
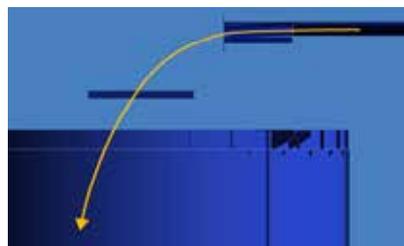
#### **Notes :**

- Les cas de grands excentrements (intentionnels ou accidentels) seront traités dans l'article #6.
- Des exemples d'application suivront ultérieurement.

## Actions de la matière ensilée – actions asymétriques

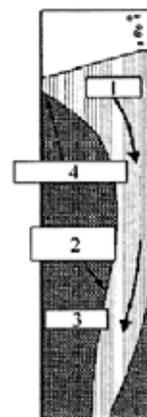
À cause des variations diverses, les mouvements dans un silo ne sont jamais parfaitement symétriques, même avec des remplissages et vidanges prévues de manière symétrique sur plan :

- Au remplissage, même centré, joue la trajectoire de chute, qui dépend par exemple de la vitesse du convoyeur ;



- À la vidange, même avec un orifice de vidange centré, une ouverture partiellement bouchée ou également la matière en cours de vidange entraînée sur le convoyeur peuvent avoir un effet ;

- Des ségrégations, des différences de densité ou de taux d'humidité, des cohésions localisées, etc. perturbent le comportement symétrique. Notamment pour les silos très élancés, en combinaison avec un remplissage excentré, cela peut donner lieu à un écoulement en tuyau ou mixte asymétrique. Ce cas peut avoir des effets particulièrement importants quand la matière en mouvement touche la paroi, voir ci-contre.



Extrait Figure 3.4 NF EN 1991-4 :2006

Comme vu précédemment, les contraintes de la matière ensilée sur la paroi changent selon l'état de la matière (immobile ou en mouvement), et notamment au droit de la zone de transition (zone entre la matière immobile et la matière en mouvement). Le comportement réel de la matière dans le silo est impossible à modéliser dans la pratique. Mais sachant que les silos sont sensibles aux actions asymétriques, surtout les silos circulaires, on comprend l'importance de la prise en compte de ces asymétries.

Afin de représenter les asymétries non planifiées (remplissage ou vidange), l'Eurocode propose deux méthodes différentes :

- Augmentation uniforme de l'action symétrique ;
- Ajout d'une action localisée sur une bande horizontale, dont la forme et direction dépend du type de silo.

Le choix de la méthode dépend surtout de la classe d'évaluation d'actions :

- Classe 1 (silos simples de faible taille) : les actions localisées peuvent être négligées (en effet, on considère les effets asymétriques couverts par les actions à la vidange) ;
- Classe 2 : on peut choisir entre l'augmentation uniforme et l'application de l'action localisée ;

- Classe 3 (silos complexes de taille importante) : la méthode de l'action localisée est préconisée.

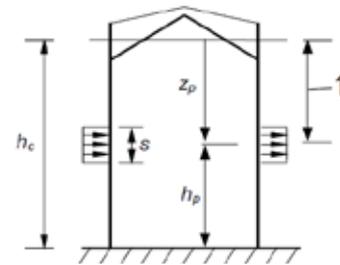
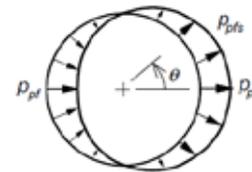
Note : la classification Eurocode des silos sera traitée dans un autre article à venir.

Autres caractéristiques qui interviennent dans le choix de la méthode :

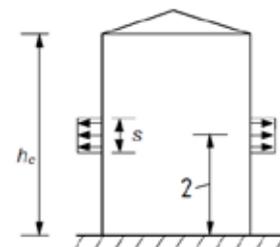
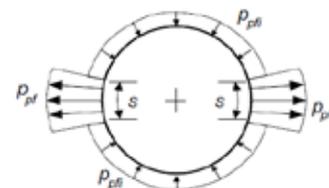
- L'élanement du silo ;
- La valeur des excentricités au remplissage et à la vidange.

Le principe de l'action localisée proposée par l'Eurocode est le même en remplissage et en vidange. Il s'agit d'appliquer une action supplémentaire sur une bande horizontale dont la hauteur dépend du diamètre (ou du cercle inscrit) du silo. Cette bande est, en principe, à appliquer à un niveau quelconque – à la charge de l'ingénieur de déterminer la hauteur dimensionnante, où de faire une multitude de cas de charge séparés. Cette action localisée **ne cherche pas à représenter un comportement réel** à l'intérieur du silo, mais à utiliser un mode de chargement qui est dimensionnant pour la structure : d'où la différenciation de la forme de l'action localisée en fonction de l'épaisseur de la paroi du silo.

- Silos circulaires à paroi mince (silos métalliques) : la forme de l'action localisée engendre une asymétrie dans la coque

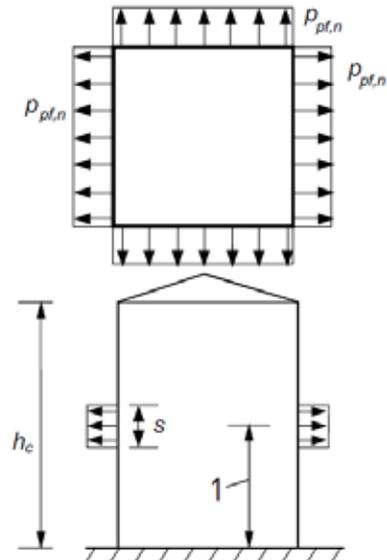


- Silos circulaires à paroi épaisse (silos en béton) : l'action localisée engendre une ovalisation du silo à flexion de la paroi



Extraits Figure 5.2 EN 1991-4 :2006

- Silos non circulaires : l'action localisée correspond globalement à une simple augmentation de l'action symétrique.



Extrait Figure 5.3 EN 1991-4 :2006

Dans le calcul de la valeur de l'action localisée intervient le coefficient  $C_{op}$ . Contrairement aux actions symétriques à la vidange, qui sont assez indépendantes du type de la matière ensilée, l'action asymétrique dépend fortement de la matière ensilée. Le coefficient  $C_{op}$  présente la difficulté qu'il n'y a pas encore d'essai en laboratoire satisfaisant pour le déterminer ; il est basé actuellement sur des essais de vidange de silo et l'expérience.