

SESSION 2014

**AGRÉGATION
CONCOURS EXTERNE**

Section : SCIENCES INDUSTRIELLES DE L'INGÉNIEUR

**Option : SCIENCES INDUSTRIELLES DE L'INGÉNIEUR
ET INGÉNIERIE DES CONSTRUCTIONS**

**MODÉLISATION D'UN SYSTÈME, D'UN PROCÉDÉ
OU D'UNE ORGANISATION**

Durée : 6 heures

Calculatrice électronique de poche - y compris calculatrice programmable, alphanumérique ou à écran graphique – à fonctionnement autonome, non imprimante, autorisée conformément à la circulaire n° 99-186 du 16 novembre 1999.

L'usage de tout ouvrage de référence, de tout dictionnaire et de tout autre matériel électronique est rigoureusement interdit.

Dans le cas où un(e) candidat(e) repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, il (elle) le signale très lisiblement sur sa copie, propose la correction et poursuit l'épreuve en conséquence.

De même, si cela vous conduit à formuler une ou plusieurs hypothèses, il vous est demandé de la (ou les) mentionner explicitement.

NB : La copie que vous rendrez ne devra, conformément au principe d'anonymat, comporter aucun signe distinctif, tel que nom, signature, origine, etc. Si le travail qui vous est demandé comporte notamment la rédaction d'un projet ou d'une note, vous devrez impérativement vous abstenir de signer ou de l'identifier.

Contexte de l'étude

Le sujet proposé porte sur une installation de valorisation et de traitement des déchets ménagers.

La spécificité de ce projet est d'intégrer l'ensemble des déchets au processus de valorisation et de proposer sur un même site, une unité de tri des emballages ménagers, journaux et magazines ainsi qu'une unité de tri-méthanisation-compostage des déchets ménagers.



- ① Réception des déchets
- ② Tri mécanique
- ③ Méthanisation(*)
- ④ Compostage
- ⑤ Centre de tri des emballages recyclables
- ⑥ Espace de regroupement et de transfert des encombrants
- ⑦ Circuit et espace pédagogique

(*) Méthanisation : phénomène naturel et biologique observé dans les marais et reproductible artificiellement. Placée dans des digesteurs hermétiques, la fraction fermentescible des déchets est dégradée par des bactéries. Ce processus de fermentation est accéléré par l'absence d'oxygène (milieu anaérobie). Il aboutit à la production de biogaz, riche en méthane valorisable, et d'un produit résiduel stabilisé, appelé digestat.

La valorisation des déchets se fait donc suivant trois formes :

- ☞ valorisation matière : les emballages ménagers issus du tri sélectif chez l'habitant sont valorisés comme matière première par les différentes filières de recyclage.
- ☞ valorisation organique : la matière organique contenue dans nos déchets est transformée en compost, proposant ainsi un retour au sol de ces matières organiques et par conséquent une solution de substitution aux engrais chimiques.

☞ valorisation énergétique : la méthanisation de la fraction organique contenue dans nos déchets assure la production d'une énergie renouvelable, le biogaz, offrant ainsi une réponse écologique et durable à la question du traitement des déchets. En se basant sur une quantité de déchets de 80 000 t/an, le site produirait ainsi 25 000 MWh d'énergie dont 12 500 MWh correspondraient aux besoins du site, le reste étant revendu à EDF.

Sommaire

Le sujet comporte 3 parties indépendantes :

PARTIE 1 – Étude mécanique d'un portique du bâtiment de réception des déchets	4
PARTIE 2 – Étude thermique du bâtiment pédagogique	9
PARTIE 3 – Étude de sols.....	16
ANNEXE 1: Implantation de la zone A.....	18
ANNEXE 2 : Détail des liaisons.....	19
ANNEXE 3 : Diagramme des sollicitations de la structure (Sy)	20
ANNEXES 4 Sols	21

Toutes les parties peuvent être traitées de manière indépendante. Pour chaque question, en complément des résultats de calculs proprement dits, il conviendra de justifier les choix effectués et les calculs réalisés, et de commenter les résultats obtenus.

**PARTIE 1 – Étude mécanique d'un portique du bâtiment de réception des déchets
(7 points)**

Dès leur arrivée sur le site, les camions se dirigent vers la zone A du bâtiment 1 où ils déversent le contenu des déchets (voir Annexe 1). De là, un chargeur véhicule les déchets de type OMR (Ordures Ménagères Résiduelles) vers des tubes de fermentation rotatifs (TFR) dans lesquels les déchets vont rester 2 jours pour initier la fermentation. Afin de limiter les nuisances olfactives pour les riverains, l'ensemble de cette zone est clos. Cependant, pour faciliter la circulation des chargeurs dans la zone, le bâtiment doit présenter le moins d'encombrement au sol. L'ensemble de ces contraintes conduit à la conception d'un bâtiment présentant des portées importantes.

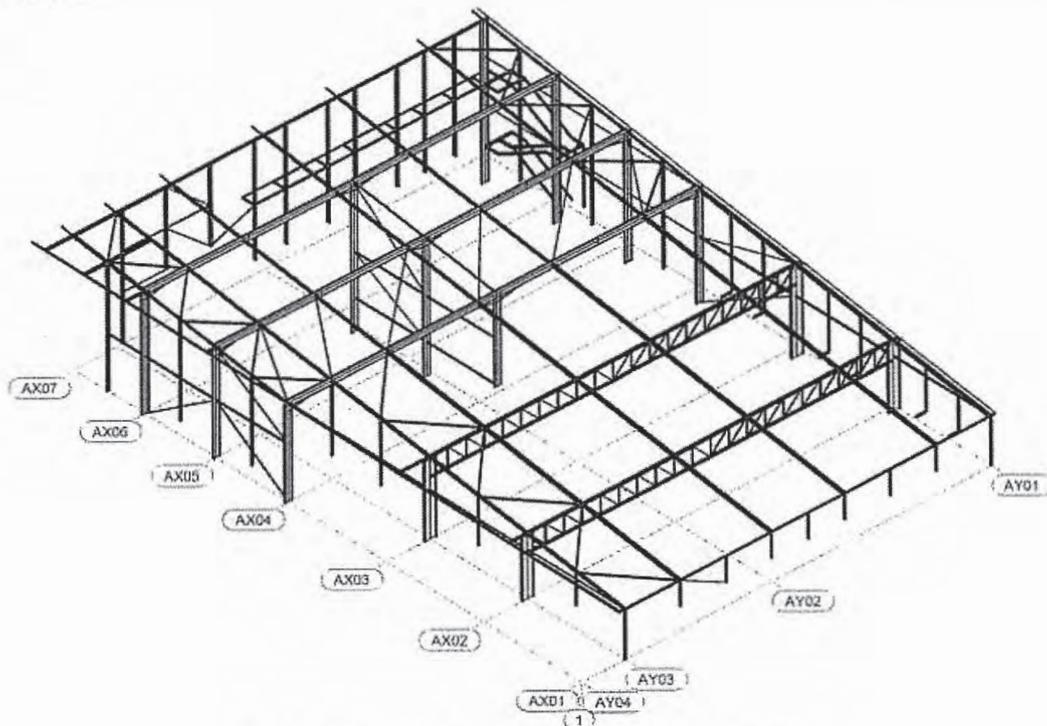


Figure 1 : Perspective de la structure du bâtiment 1

L'objectif de cette étude porte sur la vérification mécanique du portique métallique de la file **AX05** sous différents cas de charges :

- cas de chargement courant correspondant à la combinaison maximale à l'ELU ;
- cas de charge sismique associé au cas de chargement courant.

L'acier utilisé dans ce portique est un acier de construction S275 présentant une limite élastique f_y de 275 MPa.

Ce portique est constitué de 4 traverses de 11,5 m et de 3 poteaux. Les traverses sont réalisées à partir de 4 poutres en Profil Reconstitué Soudé, d'inertie I_1 , liées chacune d'un côté à un poteau et de l'autre à une autre poutre.

Les poteaux, en Profilé Reconstitué Soudé, d'inertie I_2 , sont liés aux fondations en béton armé par un système de tige d'ancrage (Voir annexe 2).

Sur ces poteaux sont aussi fixées des lisses servant d'appui au bardage des longs pans. Dans cette étude, on ne tiendra pas compte du contreventement de l'ensemble de la structure.

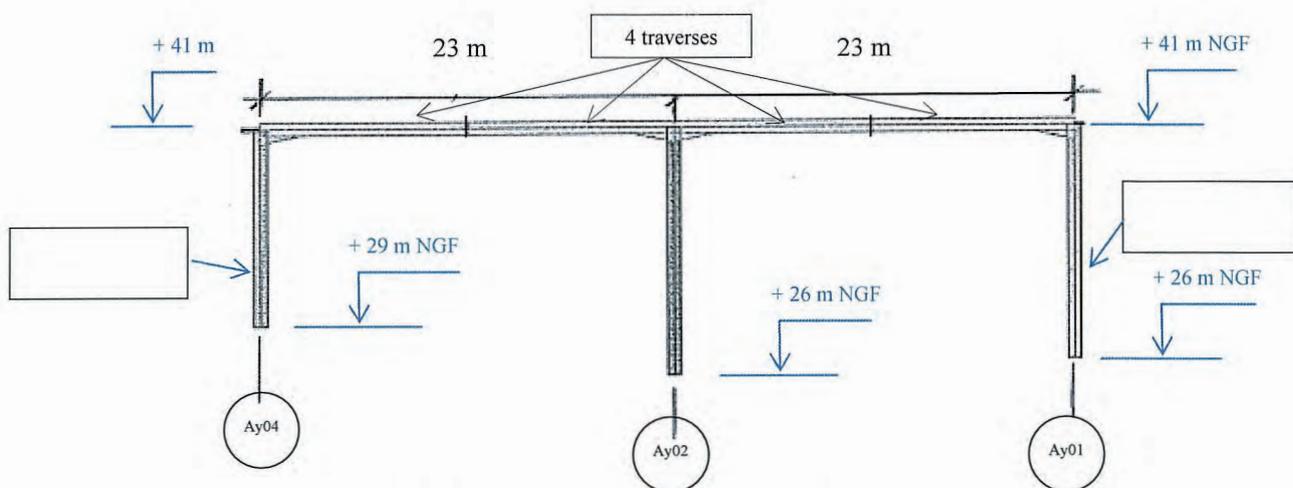


Figure 2 : Représentation schématique du portique

Pour la suite de l'étude, pour éviter les difficultés numériques, nous admettrons que la section droite des poutres est constante au niveau des liaisons et nous négligerons les débords de toiture de part et d'autre.

Dans un premier temps, on se propose d'étudier ce portique sous le cas de chargement courant (combinaison maximale à l'ELU). Ce cas de charges tient compte des charges permanentes de couverture, des charges d'exploitation correspondant à l'entretien des couvertures, de la charge de vent horizontale amenée par le bardage.

Pour ce cas de charge, le schéma de modélisation mécanique de ce portique dans un repère (O,X,Y) global, est le suivant :

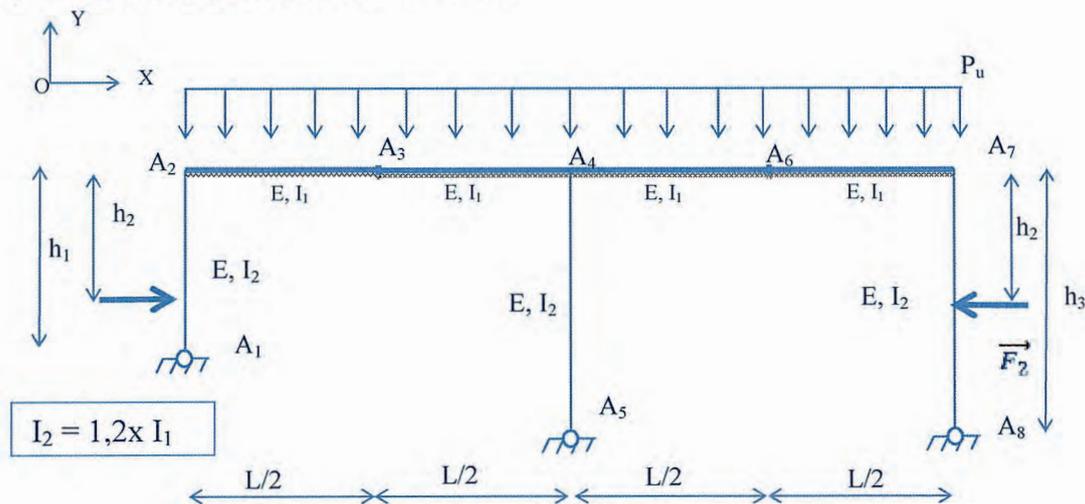


Figure 3 : Schéma mécanique (S) du portique à l'ELU

Question 1 :

Déterminer le degré d'hyperstaticité du schéma mécanique proposé en figure 3. Etablir une analyse critique du schéma mécanique portant sur les portées et l'ensemble des liaisons, y compris les liaisons intérieures de type A_2 et A_3 . Sans faire de calcul, définir les actions mécaniques modélisées (type, nature...).

Question 2 :

En réalisant une analyse mécanique statique, déterminer les sollicitations dans les poteaux et les traverses à partir des données numériques définies ci-dessous.

Données numériques :

$E = 210\,000\text{ MPa}$; $L = 23\text{ m}$; $h_1 = 12\text{ m}$; $h_2 = 8\text{ m}$; $h_3 = 15\text{ m}$; $F_1 = 90\text{ kN}$; $F_2 = 110\text{ kN}$; $p_u = 1000\text{ daN/m}$ (les charges sont exprimées à l'ELU).

Nota : Vous énoncerez toutes les hypothèses nécessaires à cette étude.

Le projet se situe dans une zone de sismicité modérée (zone 3 selon l'Eurocode 8) pouvant entraîner dans la structure une force d'inertie horizontale \vec{F}_Y en tête de poteaux. Dans un premier temps, la structure va être représentée sous la seule action de cette charge sismique par le schéma mécanique suivant dans le repère global (O,X,Y):

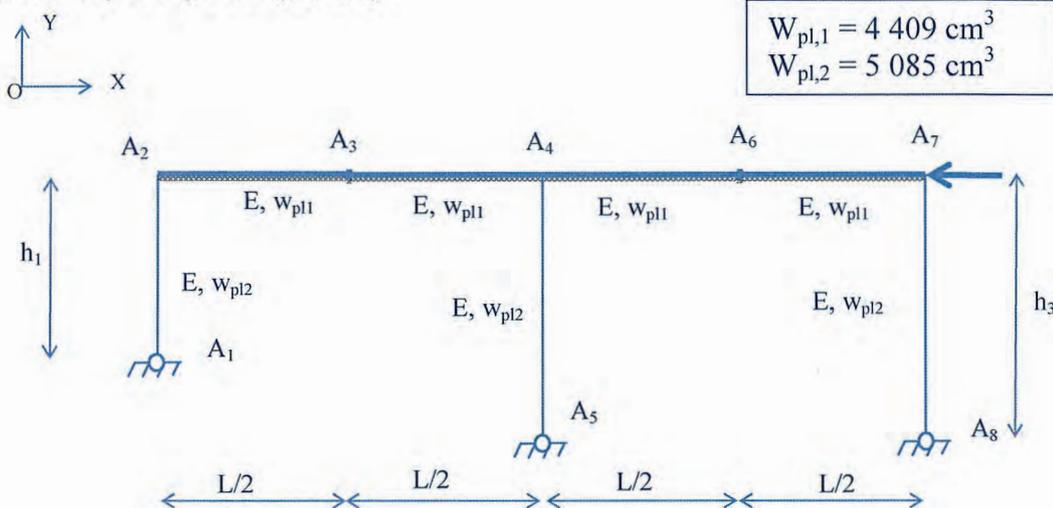


Figure 4 : Schéma mécanique (S.) du portique sous une action sismique

Question 3 :

Justifier le modèle mécanique ci-dessus et ses hypothèses. Expliquer le principe de détermination de la force d'inertie F_Y .

Nous allons étudier maintenant la stabilité du portique durant une action sismique. Conformément à l'Eurocode 0, le cas de charge à étudier correspond aux charges permanentes non pondérées associées à la charge sismique pondérée.

Le schéma mécanique à étudier est donc le suivant :

$$\begin{aligned} W_{pl,1} &= 4\,409\text{ cm}^3 \\ W_{pl,2} &= 5\,085\text{ cm}^3 \end{aligned}$$

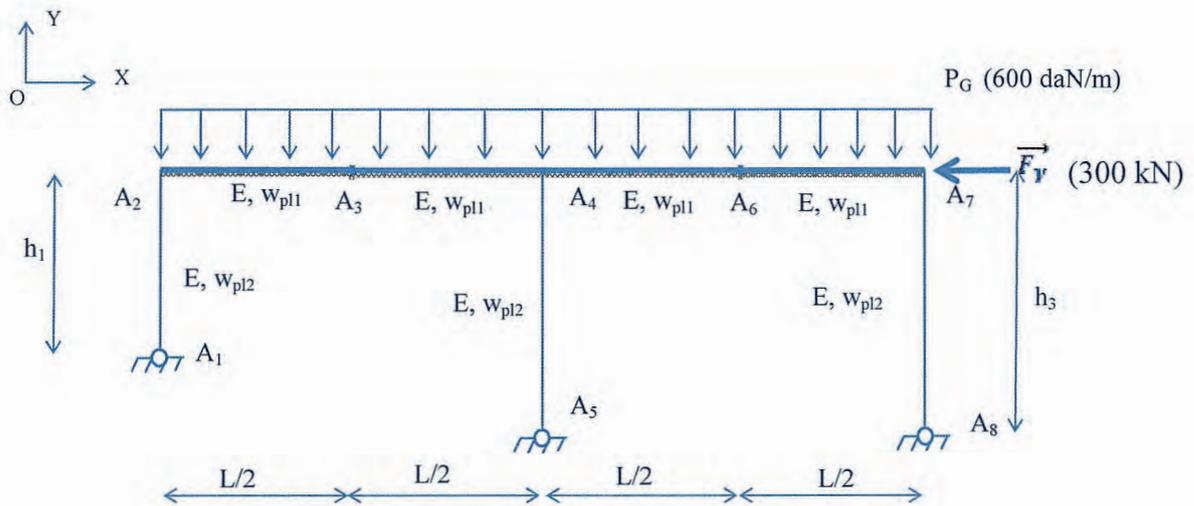


Figure 5 : Schéma mécanique de la structure (Sy+G) sous l'action des charges permanentes additionnées de la charge sismique

La simulation numérique de cette modélisation a permis de tracer les diagrammes des sollicitations de la structure (Sy+G) donnés dans l'annexe 3. Pour ce cas de charge, l'incidence de l'effort normal sur le moment plastique est négligeable. Selon l'Eurocode 3, les sections des profilés des traverses et des poteaux étant de classe 1, la vérification des sections vis-à-vis de la flexion se traduit par la relation suivante :

$$M \leq W_{pl} \times f_y$$

où W_{pl} représente le module plastique de la section et f_y , la limite élastique de l'acier.

Question 4 :

Analyser ces résultats et vérifier les sections vis-à-vis de la flexion. Conclure quant à la stabilité du portique.

La sollicitation sismique a engendré une modification de la modélisation mécanique, appelée (S'). On veut savoir maintenant si malgré ces modifications, la structure (S') restera stable sous le chargement courant étudié à la question 1. A partir de cette nouvelle modélisation mécanique, une simulation numérique a été menée avec le chargement courant.

Le diagramme de l'effort tranchant obtenu dans les repères locaux (O,x,y) de chaque barre, est le suivant :

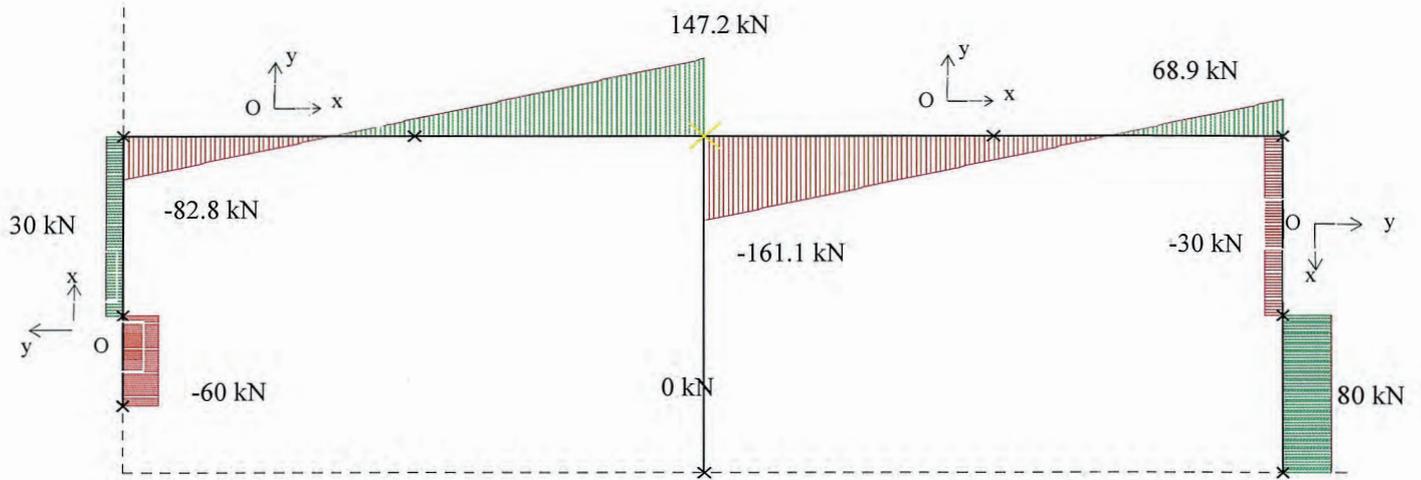


Figure 6 : Diagramme de l'effort tranchant dans la structure (S')

Question 5 :

A partir de ce diagramme en déduire la répartition du moment fléchissant dans la structure.

Question 6 :

Après avoir analysé les résultats précédents (questions 4 et 5), définir le schéma mécanique de la structure (S') et conclure quant à son risque de ruine.