

---

## ANNEXE F – Analyse structurale des conduites

## ANNEXE F : ANALYSE STRUCTURALE DES CONDUITES

### 1 Hypothèses

➤ Description des conduites

Collecteur principal 1 <sup>er</sup> niveau	→	PeHD DR 11, 200 mm $\phi$
Collecteur principal 2 <sup>e</sup> niveau	→	PeHD DR 11, 150 mm $\phi$
Collecteur secondaire 1 <sup>er</sup> niveau	→	PeHD DR 11, 150 mm $\phi$

➤ Cas critique

Élévation maximale de matières résiduelles : 41,2 m

L'élévation maximale de matières résiduelles est atteinte vis-à-vis les trois (3) types de conduites décrites précédemment.

➤ Poids unitaire du sol au-dessus de la conduite :

$$= (\gamma_{\text{couche drainante et pierre nette}} \times h_{\text{couche drainante et pierre nette}}) + (\gamma_{\text{déchet et recouvrement journalier}} \times h_{\text{déchet et recouvrement journalier}}) + (\gamma_{\text{couvert final}} \times h_{\text{couvert final}})$$

$$\begin{aligned} \gamma_{\text{couche drainante + pierre nette}} &= 2\,000 \text{ kg/m}^3 \\ h_{\text{couche drainante + pierre nette}} &= 0,5 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \gamma_{\text{déchet + recouvrement journalier}} &= 1\,000 \text{ kg/m}^3 \\ h_{\text{déchet + recouvrement journalier}} &= 39,8 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \gamma_{\text{recouvrement final}} &= 2\,000 \text{ kg/m}^3 \\ h_{\text{recouvrement final}} &= 0,9 \text{ m} \end{aligned}$$

➤ Ajustement pour conduites perforées

$$\text{Charge de conception} = \text{charge réelle} \times \frac{L}{L - L_p}$$

$$L_p = L / e_p \times d_p$$

où

L	=	Longueur unitaire de la conduite
$L_p$	=	Longueur cumulative des perforations par longueur unitaire de conduite
$e_p$	=	Espacement des perforations c/c
$d_p$	=	Diamètre cumulatif des perforations par unité de longueur

Selon les plans accompagnants l'étude d'impact,

L	=	1000 mm
$e_p$	=	75 mm
$d_p$	=	10 mm
$L_p$	=	133 mm

## 2 Fléchissement

Formule d'Iowa modifiée

$$Y = \frac{D_1 K W_c r^3}{EI + 0,061 E' r^3}$$

où

Y	=	Déflexion verticale (po)
$D_1$	=	Facteur de compensation pour l'accroissement du fléchissement
$W_c$	=	Charge unitaire supportée (lb/po)
r	=	rayon moyen de la conduite
E	=	module d'élasticité de la conduite (lb/po <sup>2</sup> )

- I = moment d'inertie de la conduite par unité de longueur (po<sup>3</sup>)  
E' = module de réaction du sol

Pour le LET de Sainte-Sophie,

- D<sub>1</sub> = 1,0  
K = 0,11 (conduite sur assise horizontale)  
r = 3,012 po pour PeHD 150 DR 11  
= 3,921 po pour PeHD 200 DR 11  
E = 30 000 psi  
I = 0,0182 (po<sup>4</sup>/po) pour PeHD 150 DR 11  
= 0,0414 (po<sup>4</sup>/po) pour PeHD 200 DR 11  
E' = 3000 psi

### 3 Résistance en compression

Formule de compression annulaire :

$$\sigma_c = \frac{P D}{2 T}$$

où

- $\sigma_c$  = ampleur de la charge de compression (psi)  
P = pression unitaire maximale (psi)  
D = diamètre de la conduite (po)  
T = épaisseur de la paroi

### 4 Flambage de la paroi

$$P_{cr} = 0,4 \sqrt{(32R_w B' E' \frac{EI}{D_{avg}^3})}$$

où

$P_{cr}$	=	charge critique pour conduite enterrée
$E$	=	module d'élasticité
$I$	=	moment d'inertie de la conduite par unité de longueur ( $po^3$ )
$E'$	=	module de réaction du sol
$D_{avg}$	=	diamètre moyen de la conduite
$B'$	=	$(1 + 4^{e^{-0.0065H}})^{-1}$
	où	$H$ = profondeur d'enfouissement de la conduite (ft)
$R_w$	=	$1 - 0,33 (hw / h)$
	où	$hw$ = hauteur d'eau au-dessus de la conduite (po)
		$h$ = hauteur de sol au-dessus de la conduite (po)

Évaluation structurale des conduites en PEHD Adapté de System design HDPE pipe (KWH pipe Canada ltd)		ASA André Simard et associés		
<b>Description du projet</b>				
Client : Waste Management		N° projet : 06-2301		
Titre du projet : LET Sainte-Sophie, agrandissement II, étude d'impact		Date : 12-juil-07		
Ingénieur de projet : Nathalie Chevé				
<b>Localisation de la conduite</b>				
Cellule d'enfouissement technique N° :S/O		Diamètre nominal : PEHD 150 DR11		
Type de conduite : Drain collecteur secondaire, 1er niveau		Chainage aval : s/o		
Remarques : Drain perforé		Chainage amont : s/o		
Paramètres de calcul - Conduite		Symbole	Unité	PEHD 150 DR11
Diamètre extérieur de la conduite		OD	mm	168,28
Épaisseur minimale de la paroi de la conduite		t <sub>min</sub>	mm	15,29
Rayon moyen de la conduite		r	mm	76,50
Paramètres de calcul - Charge Verticale du sol (Prism load method)		Épaisseur	Masse volumique	Charge totale
		(m)	(kg/m <sup>3</sup> )	kg/m <sup>2</sup>
Couche 1 : Recouvrement final		0,9	2000	1800
Couche 2 : Matières résiduelles et recouvrement journalier		39,8	1000	39800
Couche 3 : Couche drainante et pierre nette		0,5	2000	1000
<b>Charge verticale totale des sols</b>		<b>41,2</b>	<b>1034</b>	<b>42600</b>
<b>Charge verticale totale des sols</b>		<b>V<sub>c</sub></b>	<b>kg/m<sup>3</sup></b>	<b>418 kPa</b>
Ajustement pour conduite perforée		Symbole	Unité	PEHD 150 DR11
Diamètre cumulé des perforations par unité de longueur		d <sub>p</sub>	mm	10,0
Espacement des perforations c/c		e <sub>p</sub>	mm	75,0
Longueur cumulative des perforations par longueur unitaire des conduites		L <sub>p</sub>	m	0,133
<b>Charge verticale totale des sols sur conduite perforée</b>		<b>V<sub>c</sub></b>	<b>kPa</b>	<b>482,0</b>
Paramètres de calcul (Formule d'Iowa modifié)		Symbole	Unité	PEHD 150 DR11
Diamètre extérieur de la conduite		OD	inches	6,625
Diamètre intérieur de la conduite		ID	inches	5,421
Épaisseur minimale de la paroi de la conduite		t <sub>min</sub>	inches	0,602
Rayon moyen de la conduite		r	inches	3,012
Module d'élasticité apparent de la conduite (30000 psi)		E	psi	30000
Moment d'inertie par unité de longueur de la section transversale de la conduite		I	inches <sup>4</sup> /inch	0,0182
Facteur de compensation pour l'accroissement du fléchissement dans le temps		D <sub>t</sub>	--	1
Constante de butée		K <sub>s</sub>	--	0,11
Module de réaction du sol (voir tableau 3)		E'	psi	3000
Charge verticale totale des sols		V <sub>c</sub>	psi	61
Charge verticale totale des sols sur la conduite perforée		V <sub>c</sub>	psi	70
Charge verticale des sols sur la conduite par unité de longueur		W <sub>cp</sub>	lbs/inch	401
Charge verticale des sols sur la conduite perforée par unité de longueur		W <sub>cp</sub>	lbs/inch	463
Charge vive sur la conduite causée par la circulation (voir figure 3)		V <sub>w</sub>	psi	0
Charge vive sur la conduite par unité de longueur		W <sub>w</sub>	lbs/inch	0
Charge totale		V <sub>T</sub>	psi	61
Charge totale sur la conduite perforée		V <sub>T</sub>	psi	70
Charge totale par unité de longueur		W <sub>T</sub>	lbs/inch	401
Charge totale par unité de longueur équivalente		W <sub>T</sub>	lbs/inch	463
Résistance en compression (Ring compression formula)		Symbole	Unité	PEHD 150 DR11
Charge compressive maximale admissible (psi)		σ	psi	800
Charge compressive calculée dans la paroi de la conduite		σ	psi	333
Charge compressive calculée dans la paroi de la conduite perforée		σ	psi	385
Déflexion verticale maximale (Formule d'Iowa modifiée)		Symbole	Unité	PEHD 150 DR11
Déflexion verticale calculée pour la conduite (Formule d'Iowa modifié)		Y	inches	0,217
Déflexion verticale calculée pour la conduite perforée (Formule d'Iowa modifié)		Y	inches	0,251
Déflexion verticale admissible retenue (Voir tableau 1 et référence)		Y/OD <sub>ADM</sub>	%	7,0%
Deflexion sur le diamètre moyen de la conduite		Y/OD	%	3,3%
Deflexion sur le diamètre moyen de la conduite perforée		Y/OD	%	3,8%
Flambage de la paroi α < qa		Symbole	Unité	PEHD 150 DR11
Desing Factor = 0,40		DF	--	0,4
Hauteur de l'eau souterraine au-dessus de la conduite		hw	inches	0
Hauteur du sol au-dessus de la conduite		h	inches	1497
Pression de vacuum dans la conduite		Pv	psi	0
Facteur de poussée d'archimède		Rw		1,0
Coefficient empirique du support élastique		B'		1,0
Charge maximale de flambage acceptable		qa	psi	196
Charge de flambage appliquée		α	psi	67
Charge de flambage appliquée conduite perforée		α	psi	77

Harrison S., Watkins R.K. HDPE leachate collection pipe design by fundamentals of mechanics. 19th International Madison Waste Conference, Municipal and Industrial waste. University of Wisconsin-Madison, september 25-26, 1996.

-The field evidence of case histories show that deflection up to at least 20% do not lead to failure (Case histories on file at ASTM);  
- Ease of cleaning considerations suggest that deflection should be kept below 5% à 7%;

- Fortunately for landfill designer, deflection should not usually be an issue.

Sharma H.D., Lewis P.L., 1994. "Waste Containment Systems, Waste Stabilization and Landfills, Design and evaluation". John Wiley & sons inc.

- If the prism load equation is use, the deflection lag factor can be reduce to 1.0 because the prism load has been found to be approximately 1.5 times greater than the load determined using Marston's equation.

Ratio dimension	%Déflexion admissible
32,5	8,6
26	6,5
21	5
17	4
11	3,3
9	2,6

Évaluation structurale des conduites en PEHD Adapté de System design HDPE pipe (KWH pipe Canada ltd)		ASA André Simard et associés		
<b>Description du projet</b>				
Client : Waste Management		N° projet :	06-2301	
Titre du projet : LET Sainte-Sophie, agrandissement II, étude d'impact		Date :	12-juil-07	
Ingénieur de projet : Nathalie Chevé				
<b>Localisation de la conduite</b>				
Cellule d'enfouissement technique N° :S/O		Diamètre nominal :	PEHD 200 DR11	
Type de conduite : Drain collecteur secondaire, 1er niveau		Chainage aval :	s/o	
Remarques : Drain perforé		Chainage amont :	s/o	
Paramètres de calcul - Conduite		Symbole	Unité	PEHD 200 DR11
Diamètre extérieur de la conduite		OD	mm	219,08
Épaisseur minimale de la paroi de la conduite		t <sub>min</sub>	mm	19,91
Rayon moyen de la conduite		r	mm	99,58
Paramètres de calcul - Charge Verticale du sol (Prism load method)		Épaisseur	Masse volumique	Charge totale
		(m)	(kg/m <sup>3</sup> )	kg/m <sup>2</sup>
Couche 1 : Recouvrement final		0,9	2000	1800
Couche 2 : Matières résiduelles et recouvrement journalier		39,8	1000	39800
Couche 3 : Couche drainante et pierre nette		0,5	2000	1000
<b>Charge verticale totale des sols</b>		<b>41,2</b>	<b>1034</b>	<b>42600</b>
<b>Charge verticale totale des sols</b>		<b>V<sub>c</sub></b>	<b>kPa</b>	<b>418</b>
Ajustement pour conduite perforée		Symbole	Unité	PEHD 200 DR11
Diamètre cumulatif des perforations par unité de longueur		d <sub>p</sub>	mm	10,0
Espacement des perforations c/c		e <sub>p</sub>	mm	75,0
Longueur cumulative des perforations par longueur unitaire des conduites		L <sub>p</sub>	m	0,133
<b>Charge verticale totale des sols sur conduite perforée</b>		<b>V<sub>c</sub></b>	<b>kPa</b>	<b>482,0</b>
Paramètres de calcul (Formule d'Iowa modifié)		Symbole	Unité	PEHD 200 DR11
Diamètre extérieur de la conduite		OD	inches	8,625
Diamètre intérieur de la conduite		ID	inches	7,057
Épaisseur minimale de la paroi de la conduite		t <sub>min</sub>	inches	0,784
Rayon moyen de la conduite		r	inches	3,921
Module d'élasticité apparent de la conduite (30000 psi)		E	psi	30000
Moment d'inertie par unité de longueur de la section transversale de la conduite		I	inches <sup>4</sup> /inch	0,0401
Facteur de compensation pour l'accroissement du fléchissement dans le temps		D <sub>t</sub>	--	1
Constante de butée		K <sub>s</sub>	--	0,11
Module de réaction du sol (voir tableau 3)		E'	psi	3000
Charge verticale totale des sols		V <sub>c</sub>	psi	61
Charge verticale totale des sols sur la conduite perforée		V <sub>c</sub>	psi	70
Charge verticale des sols sur la conduite par unité de longueur		W <sub>cp</sub>	lbs/inch	522
Charge verticale des sols sur la conduite perforée par unité de longueur		W <sub>cp</sub>	lbs/inch	603
Charge vive sur la conduite causée par la circulation (voir figure 3)		V <sub>w</sub>	psi	0
Charge vive sur la conduite par unité de longueur		W <sub>w</sub>	lbs/inch	0
Charge totale		V <sub>T</sub>	psi	61
Charge totale sur la conduite perforée		V <sub>T</sub>	psi	70
Charge totale par unité de longueur		W <sub>T</sub>	lbs/inch	522
Charge totale par unité de longueur équivalente		W <sub>T</sub>	lbs/inch	603
Résistance en compression (Ring compression formula)		Symbole	Unité	PEHD 200 DR11
Charge compressive maximale admissible (psi)		σ	psi	800
Charge compressive calculée dans la paroi de la conduite		σ	psi	333
Charge compressive calculée dans la paroi de la conduite perforée		σ	psi	385
Déflexion verticale maximale (Formule d'Iowa modifiée)		Symbole	Unité	PEHD 200 DR11
Déflexion verticale calculée pour la conduite (Formule d'Iowa modifié)		Y	inches	0,283
Déflexion verticale calculée pour la conduite perforée (Formule d'Iowa modifié)		Y	inches	0,327
Déflexion verticale admissible retenue (Voir tableau 1 et référence)		Y/OD <sub>ADM</sub>	%	7,0%
Déflexion sur le diamètre moyen de la conduite		Y/OD	%	3,3%
Déflexion sur le diamètre moyen de la conduite perforée		Y/OD	%	3,8%
Flambage de la paroi α < qa		Symbole	Unité	PEHD 200 DR11
Desing Factor = 0,40		DF	--	0,4
Hauteur de l'eau souterraine au-dessus de la conduite		hw	inches	0
Hauteur du sol au-dessus de la conduite		h	inches	1497
Pression de vacuum dans la conduite		Pv	psi	0
Facteur de poussée d'Archimède		Rw		1,0
Coefficient empirique du support élastique		B'		1,0
<b>Charge maximale de flambage acceptable</b>		<b>qa</b>	<b>psi</b>	<b>196</b>
<b>Charge de flambage appliquée</b>		<b>α</b>	<b>psi</b>	<b>67</b>
<b>Charge de flambage appliquée conduite perforée</b>		<b>α</b>	<b>psi</b>	<b>77</b>

Harrison S., Watkins R.K. HDPE leachate collection pipe design by fundamentals of mechanics. 19th International Madison Waste Conference, Municipal and Industrial waste. University of Wisconsin-Madison, september 25-26, 1996.

-The field evidence of case h

Ratio dimension	%Déflexion admissible
32,5	8,6
26	6,5
21	5
17	4
11	3,3
9	2,6