

**PARTIE SPÉCIFIQUE (8 points)**

## **Innovation Technologique et Éco-Conception**

### **Méthaniseur Agricole**



#### **Constitution du sujet :**

- **Dossier sujet et questionnaire** ..... Pages 22 à 26
- **Dossier technique**..... Pages 27 à 32
- **Documents réponses (à rendre avec la copie)**.....Pages 33 à 34

## Mise en situation

L'étude qui suit nous permettra de valider :

- ✓ que le système de dosage des intrants solides au niveau du digesteur est correctement dimensionné (Partie A) ;
- ✓ que les matériaux retenus pour les conduites de biogaz et/ou biométhane, leur dimensionnement et leur mode d'assemblage sont satisfaisants (partie B) ;
- ✓ que le poste d'injection est capable d'isoler le site du réseau de distribution GRDF en cas de défaillance (Partie C).

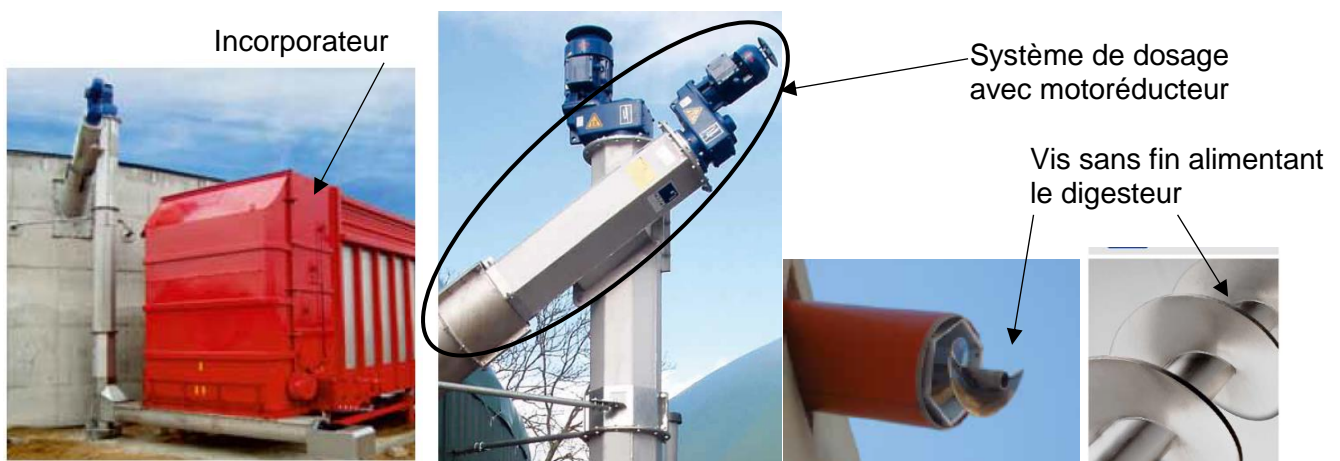
## Travail demandé

### Partie A – Comment assurer le dosage correct et continu des intrants ?

L'incorporateur de 105 m<sup>3</sup> chargé journalièrement par les opérateurs constitue le stockage tampon nécessaire aux besoins journaliers en intrants du digesteur.

Le dosage automatisé est ensuite assuré grâce à un système de motoréducteur sur lequel est installé une vis sans fin. La vitesse d'introduction des intrants est ajustée grâce à un variateur de fréquence qui permet d'assurer un dosage en continu.

La chaîne de puissance du système de dosage est donnée sur le document DTS1.



Question A.1

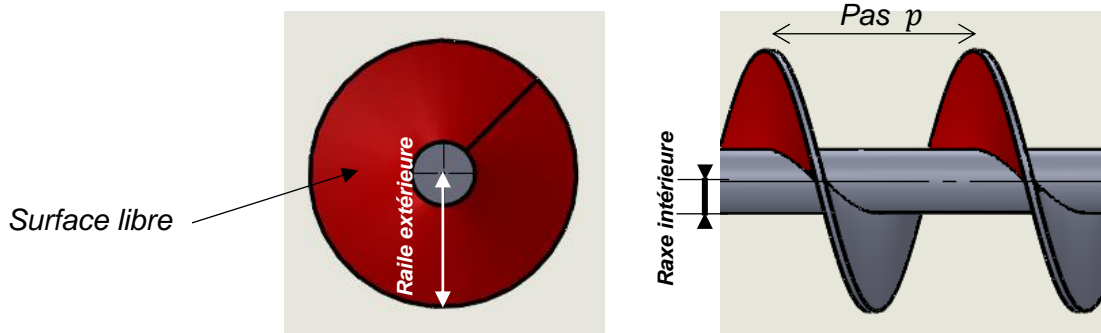
**Déterminer** la quantité horaire d'intrants à injecter dans le digesteur  
 $V_{horaire \text{ à injecter}}$  en m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup>.

L'axe de sortie du réducteur est fixé à la vis sans fin grâce à une liaison encastrement démontable (accouplement élastique).

Question A.2 | **Calculer** la vitesse de rotation maximum de la vis sans fin  $N_{\max VSF}$  en  $\text{tr}\cdot\text{min}^{-1}$ .  
DTS1

Afin de connaître la vitesse de rotation à imposer, il faut connaître la quantité de matière injectée par la vis pour chaque tour. Elle est obtenue grâce à la formule suivante :

$$Volume_{dosage/tour} (m^3) = Surface\ libre (m^2) \times Pas (m) = \Pi \times (R_{aile\ exterieure}^2 - R_{axe\ interieur}^2) \times p$$



Le pas  $p$  correspondant à la distance entre 2 sommets ou creux de l'hélice.

Question A.3 | **Calculer** le volume dosé par tour  $V_{dosage/tour}$  en  $\text{m}^3\cdot\text{tr}^{-1}$  (ou  $\text{mm}^3\cdot\text{tr}^{-1}$ ) par la vis sans fin.  
DTS1, DTS2

On considérera pour la suite que  $N_{\max VSF} = 0,35 \text{ tr}\cdot\text{s}^{-1}$  et que le  $V_{dosage/tour} = 9\cdot 10^{-3} \text{ m}^3\cdot\text{tr}^{-1}$

Question A.4 | **Calculer** ainsi le débit horaire maximum de la vis sans fin  $Q_{\max VSF}$  en  $\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$ .  
**Conclure** si la vis sans fin pourra doser le volume attendu  $V_{horaire}$  à injecter.

## Partie B – Comment assurer l'acheminement du gaz dans les tuyaux en toute sécurité ?

Le biogaz avant épuration est chargé en hydrogène sulfuré ( $\text{H}_2\text{S}$ ) en très faible quantité. C'est un gaz inflammable, incolore, à l'odeur nauséabonde d'œuf pourri, très toxique.

Il est faiblement soluble dans l'eau mais avec la condensation dans les tubulures (tuyaux), il peut donner naissance à l'**acide sulfhydrique** qui est **corrosif**. Le choix des matériaux pour les tubulures est donc primordial.

Le biogaz est acheminé dans notre cas depuis le digesteur et post-digesteur vers l'unité d'épuration grâce à des tubulures enterrées en polymères type polyéthylène « PEHD ».

Les tubulures apparentes (hors sol) sont obligatoirement en métal. Il s'agit ici d'acier inoxydable choisi pour des raisons de sécurité évidentes liées à leur résistance en cas d'explosion à proximité des tubulures.

On peut voir sur le DTS3 que l'acier est de loin le plus onéreux des métaux et alliages.

Question B.1

DTS3

**Justifier**, en argumentant, le choix d'utiliser l'acier inoxydable au niveau des tubulures apparentes en vous appuyant sur le critère de corrosion uniquement.

**Justifier**, en argumentant, le choix de matériau retenu pour les tubulures enterrées en vous appuyant à la fois sur le critère de corrosion et le critère de prix.

Les tubulures sont généralement constituées de tubes de cinq à six mètres de long qu'il faut assembler entre eux.

Pour éviter toute fuite au niveau des raccords, l'étanchéité est un point sensible. Il existe différentes solutions pour assurer l'étanchéité statique entre deux éléments (pâte à joint, joints d'étanchéité...).

Question B.2

DTS4

**Justifier**, en argumentant, le choix retenu d'assembler les tubulures enterrées en PEHD par électrosoudage.

Les tubulures entre le digesteur et le poste d'épuration sont des tubes « PE100 DN 300 ». PE 100 fait référence à la matière (Polyéthylène). « DN 300 » correspond au diamètre du tube :

- ✓ DN : « Diamètre Nominal » désigne le diamètre intérieur d'un tube.
- ✓ 300 : correspond **approximativement** au diamètre intérieur en millimètres (à quelques millimètres près)

Ils sont aussi « PN4 ». Cela signifie qu'ils sont capables de résister à une pression normalisée de 4 bars, valeur suffisante pour supporter les 40 mbars maximum dans les tuyaux.

Les tubulures entre le poste d'épuration et d'injection doivent être « PN16 ». En effet, la pression en sortie du poste d'épuration du fait de la compression du gaz pourra atteindre à terme plus de 10 bars.

Il nous faut donc déterminer l'épaisseur minimale des tubulures pour résister à cette pression.

On précise que la limite élastique du PE100 est de  $19,6 \times 10^6$  Pa et, pour éviter tout problème, on prendra un Coefficient de Sécurité « CS » égal à 1,5.

Question B.3

DTS5  
DRS1

**Compléter**, sur le document **DRS1** :

- ✓ les valeurs de contraintes maximum  $\sigma_{\max}$  pour chacune des 3 simulations du DTS5 ;
- ✓ les 3 valeurs de contraintes maximum  $\sigma_{\max CS}$  avec prise en compte du coefficient de sécurité en détaillant les calculs ;
- ✓ la valeur de la limite élastique  $R_e$  en MPa ;
- ✓ la condition de validité assurant la résistance et si les épaisseurs sont conformes ou non.

**Conclure** sur le document **DRS1** sur l'épaisseur minimum que devra faire la tubulure.

Le débit au niveau du poste d'injection doit être de  $250 \text{ Nm}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  (Normaux  $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ ). Cette valeur correspond à un débit à pression atmosphérique de 1 bar et une température de  $20^\circ\text{C}$ .

Sachant que la pression d'injection est de l'ordre de 9 bars dans notre cas, le débit « réel » à satisfaire est donc de  $250 / (9 + 1) = 25 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  si l'on néglige l'influence de la température.

Le poste d'injection est instrumenté de manière à mesurer la vitesse du fluide. Elle est dans notre cas de l'ordre de  $0,9 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ .

Question B.4

DRS2  
DTS6

**Déterminer**, par tracé sur le document **DRS2**, le diamètre DN minimal de la tubulure nécessaire au niveau du poste d'injection.

**En déduire**, en argumentant, la référence du tube adapté à l'aide du DTS6 sachant que l'épaisseur minimum retenue est de 8 mm et que la valeur de SDR est de 11 dans notre cas (pour 16 bars).

### Partie C – Comment assurer la protection du poste d'injection en toute circonstance ?

En cas d'arrêt de production, le poste d'injection doit être capable d'isoler le réseau de gaz GRDF du site.

Un clapet de sécurité « CS1 » (ou clapet anti-retour) est installé comme indiqué sur le schéma fluidique simplifié ci-dessous.

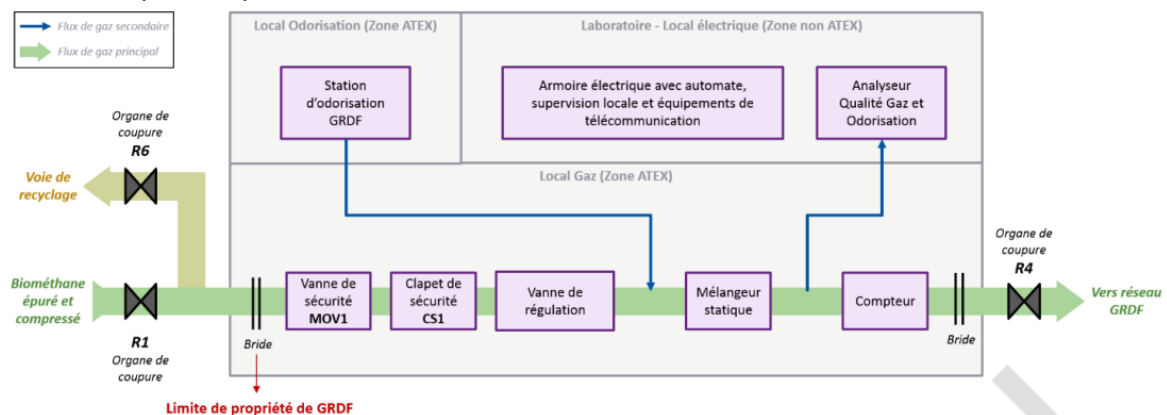
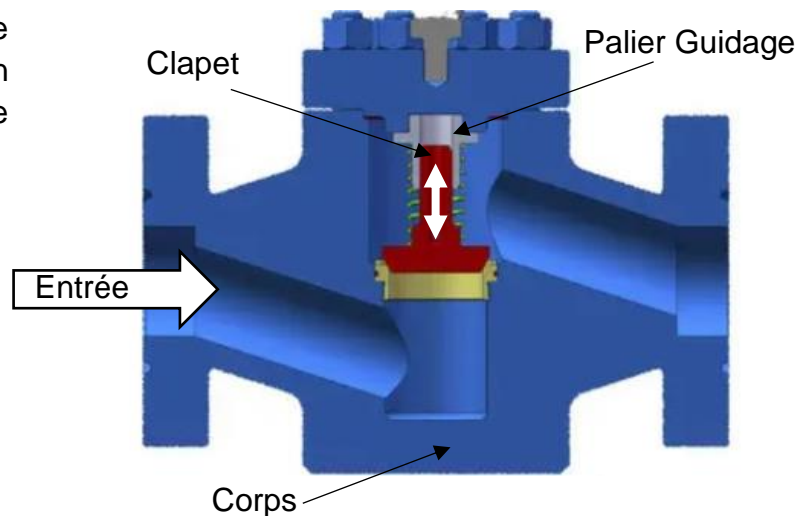


Schéma de l'installation d'injection avec odorisation GRDF

On donne ci-contre un aperçu en coupe du clapet anti-retour retenu : avec un système de rappel par ressort de compression.

On précise que :

- ✓  $\varnothing D = 100 \text{ mm}$
- ✓  $L \text{ nominale ressort} = 100 \text{ mm}$
- ✓  $\varnothing \text{ intérieur ressort mini} = 45 \text{ mm}$
- ✓ Course ressort : 30 mm



Le clapet doit pouvoir être complètement ouvert dès que la pression d'injection dépasse 8 bars (pression minimum d'injection dans le réseau).

On rappelle que : 1 bar = 0,1 MPa (ou  $\text{N}\cdot\text{mm}^{-2}$ )

Question C.1 | **Calculer** l'effort  $F_{\text{pression}}$  généré sur la surface du piston par la pression d'injection.

Le clapet est guidé en translation par rapport au corps (liaison pivot glissant entre le clapet et le palier de guidage).

Le poids propre du piston, les frottements au niveau de la liaison ainsi que la pression résiduelle en sortie (côté ressort) sont négligés. Le bilan des actions mécaniques appliquées au piston conduit à 2 forces égales et opposées suivant la direction de translation : d'une part la force de pression sur le piston côté entrée et d'autre part la force du ressort.

Le DTS7 recense plusieurs simulations de ressorts avec les forces de rappel maximales qu'ils sont susceptibles de fournir.

Question C.2 | **Déterminer**, en justifiant, les dimensions du ressort le plus adapté dans notre cas (diamètre du fil, nombre de spires et constante de raideur) en considérant que l'effort lié à la pression est de 6 kN.

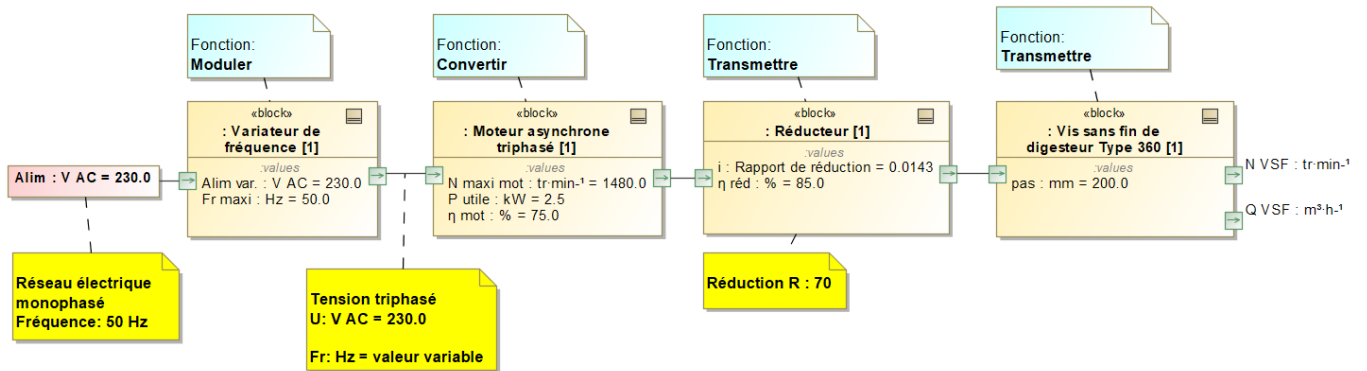
DTS7

NB : il faudra veiller à ce que le ressort retenu permette l'ouverture complète du clapet à cette pression.

## Partie D – En quoi les choix retenus au niveau des composants sont-ils capitaux pour l'installation ?

Question D.1 | **Conclure** quant à l'intérêt d'avoir conduit les trois études précédentes pour assurer le bon fonctionnement du méthaniseur.

## DTS1 – Chaîne de puissance du système dosage

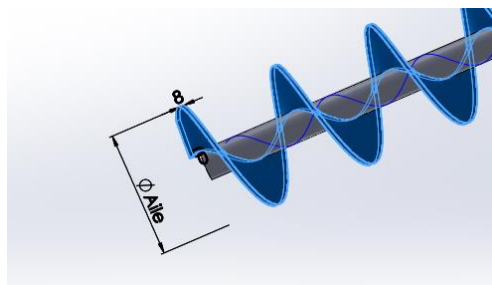
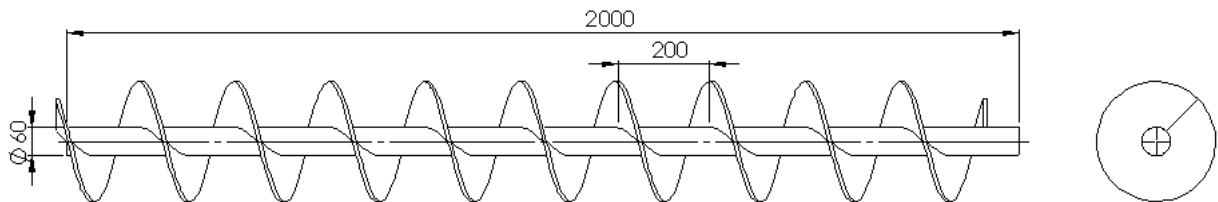


## DTS2 – Extrait des caractéristiques « système de dosage à vis sans fin »

Aperçu des variantes de modèles

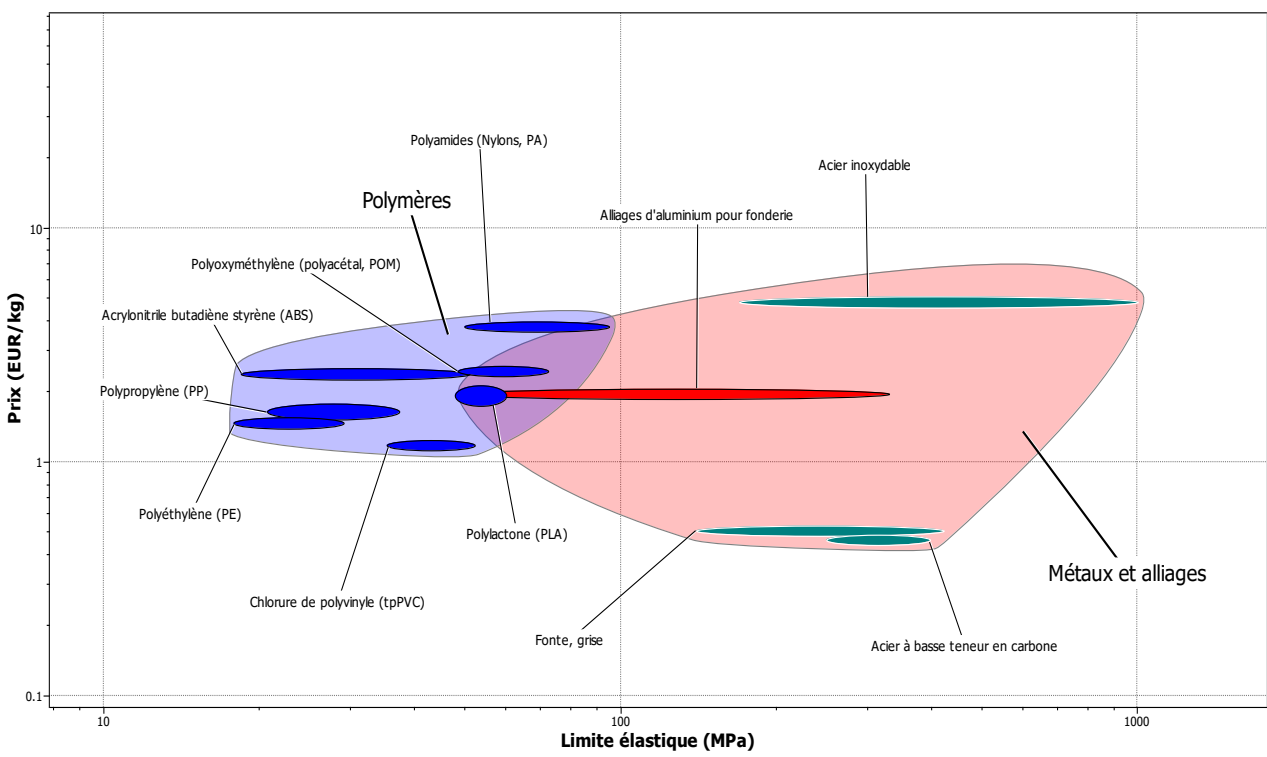
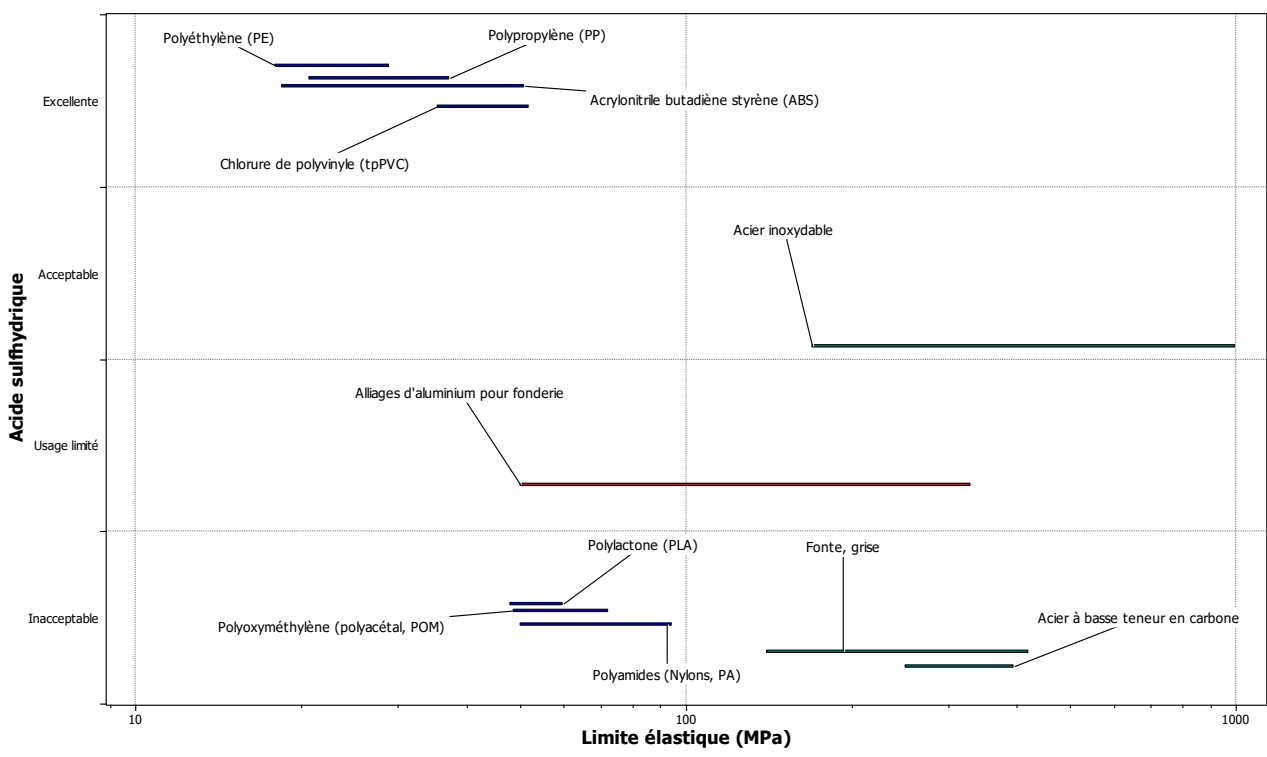
Type	Vis sans fin de sous-construction, type 360	Vis sans fin raide, type 360	Vis sans fin de digesteur, type 360	Vis sans fin de sous-construction, type 450	Vis sans fin raide, type 450	Vis sans fin de digesteur, type 450	Vis sans fin de digesteur, type 600 / 90 degrés	Vis sans fin de digesteur, type 600 / 55 degrés
Ø Aile de vis sans fin (mm)	250	280	250	360	360	360	450	450
Épaisseur du matériau	8	8	8	8	8	8	8	8
Longueur de construction (m)	<5,50	<7,20	<3,50	<4,50	<4,50	<3,50	<3,50	<3,50
Puissance motrice (kW)	3	5	2,5	4	5	3,6	3,6	3,6
Longueur de construction (m)	<8,50	<9,00		<6,00	<8,00			
Puissance motrice (kW)	4	6,8		5,5	6,8			
Matériau V2A	x	x	x	x	x	x	x	x
Zone de gaz V4A			x			x	x	x
Alésage – paroi de digesteur			450			550	700	700

x = équipement de série

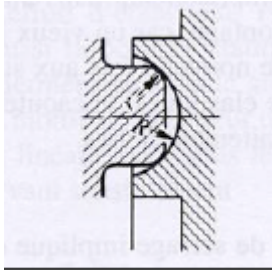
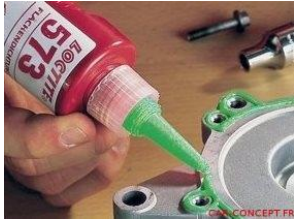





NB : L'épaisseur de l'hélice est de 8 mm

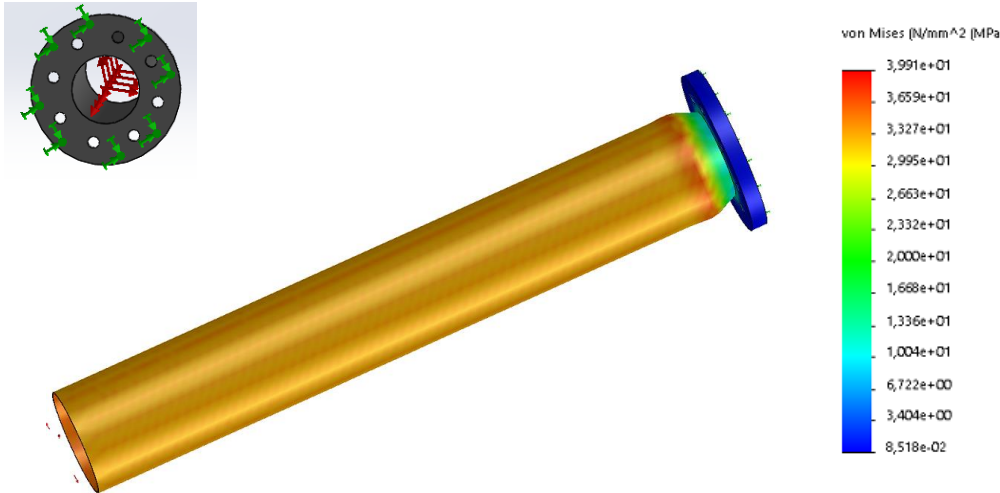
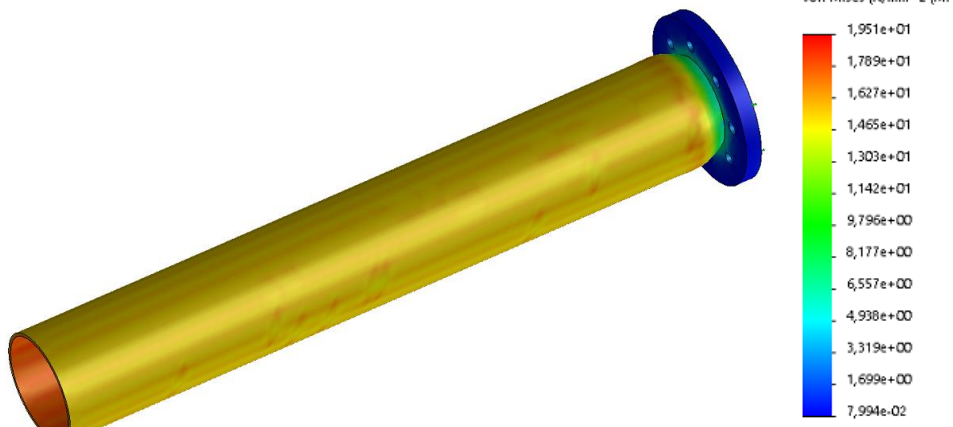
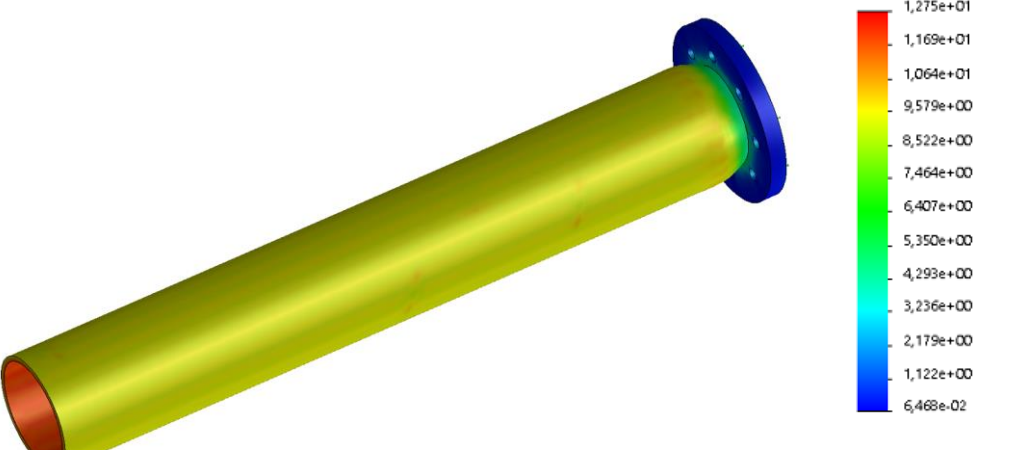
# DTS3 – Extrait des caractéristiques mécaniques des matériaux (multicritère)



## DTS4 – Comparatif des modes d'assemblage pour une étanchéité de type statique

Etanchéité	Montage	Spécificités
<b>Directe</b>	Surfaces rodées et complémentaires 	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Adapté aux matériaux métalliques surtout car l'étanchéité est obtenue grâce à la pression exercée entre les 2 pièces par bridage ;</li> <li>✓ Mise en œuvre complexe : nécessite des états de surfaces particuliers et/ ou formes particulières ;</li> <li>✓ Coûteux ;</li> <li>✓ Nécessite un accès pour intervention (regard de visite si enterré) ;</li> <li>✓ Étanchéité à contrôler régulièrement (limitée dans le temps) ;</li> <li>✓ Démontable.</li> </ul>
<b>Semi-directe</b>	Pâte à joint 	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Adapté à tous les matériaux ;</li> <li>✓ Mise en œuvre simple et rapide ;</li> <li>✓ Économique ;</li> <li>✓ Convient en aérien comme enterré ;</li> <li>✓ Étanchéité limitée dans le temps du fait de la dégradation possible du joint (notamment lorsqu'il est enterré, température...) ;</li> <li>✓ Démontable.</li> </ul>
<b>Indirecte</b>	Joint d'étanchéité 	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Adapté à tous les matériaux ;</li> <li>✓ Mise en œuvre simple et rapide par pression (bridage) ;</li> <li>✓ Économique ;</li> <li>✓ Nécessite un accès pour intervention (regard de visite si enterré) ;</li> <li>✓ Étanchéité à contrôler régulièrement (limitée dans le temps) ;</li> <li>✓ Démontable.</li> </ul>
<b>Permanente</b>	Soudage  	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Nécessite que les matériaux puissent se souder (éviter la fonte) : <ul style="list-style-type: none"> <li>• Métaux : soudage par poste à souder TIG ou MIG...</li> <li>• Plastique : électrosoudage</li> </ul> </li> <li>✓ Mise en œuvre complexe car nécessite de l'outillage spécifique en fonction du matériau à souder ;</li> <li>✓ Coûteux ;</li> <li>✓ Convient en aérien comme enterré ;</li> <li>✓ Étanchéité garantie sur la durée (plusieurs dizaines d'années) ;</li> <li>✓ Indémontable.</li> </ul>

# DTS5 – Simulation RDM pour différentes épaisseurs de tubulure

Tubulure	Résultat de la simulation (sous 16 bars de pression)
<p><b>Ep = 2.5 mm</b></p>	 <p>von Mises [N/mm<sup>2</sup> (MPa)]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>3,991e+01</li> <li>3,659e+01</li> <li>3,327e+01</li> <li>2,995e+01</li> <li>2,663e+01</li> <li>2,332e+01</li> <li>2,000e+01</li> <li>1,668e+01</li> <li>1,336e+01</li> <li>1,004e+01</li> <li>6,722e+00</li> <li>3,404e+00</li> <li>8,518e-02</li> </ul>
<p><b>Ep = 5 mm</b></p>	 <p>von Mises [N/mm<sup>2</sup> (MPa)]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>1,951e+01</li> <li>1,789e+01</li> <li>1,627e+01</li> <li>1,465e+01</li> <li>1,303e+01</li> <li>1,142e+01</li> <li>9,796e+00</li> <li>8,177e+00</li> <li>6,557e+00</li> <li>4,938e+00</li> <li>3,319e+00</li> <li>1,699e+00</li> <li>7,994e-02</li> </ul>
<p><b>Ep = 7.5 mm</b></p>	 <p>von Mises [N/mm<sup>2</sup> (MPa)]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>1,275e+01</li> <li>1,169e+01</li> <li>1,064e+01</li> <li>9,579e+00</li> <li>8,522e+00</li> <li>7,464e+00</li> <li>6,407e+00</li> <li>5,350e+00</li> <li>4,293e+00</li> <li>3,236e+00</li> <li>2,179e+00</li> <li>1,122e+00</li> <li>6,468e-02</li> </ul>

## DTS6 – Extrait du catalogue des tubulures PE 100 spécial ATEX « SIMONA »



PE Tubes de pression électro conducteur

12 Bouton Produits ▲

Informations

Comparer

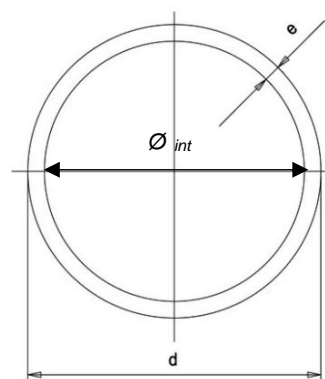
<input type="checkbox"/>	Matériau	SDR ▲	d (mm)	e (mm)	Poids (kg/m)	Longueur (m)	Référence d'article
<input type="checkbox"/>	PE-EL	11	63	5.8	1.160	5	010000353
<input type="checkbox"/>	PE-EL	11	75	6.8	1.620	5	010001693
<input type="checkbox"/>	PE-EL	11	90	8.2	2.350	5	010000356
<input type="checkbox"/>	PE-EL	11	110	10.0	3.480	5	010000358
<input type="checkbox"/>	PE-EL	11	125	11.4	4.510	5	010000360
<input type="checkbox"/>	PE-EL	11	140	12.7	5.620	5	010001694
<input type="checkbox"/>	PE-EL	17,6	63	3.6	0.760	5	010000352
<input type="checkbox"/>	PE-EL	17,6	75	4.3	1.080	5	010001121
<input type="checkbox"/>	PE-EL	17,6	90	5.1	1.530	5	010000355
<input type="checkbox"/>	PE-EL	17,6	110	6.3	2.300	5	010000357
<input type="checkbox"/>	PE-EL	17,6	125	7.1	2.940	5	010000359
<input type="checkbox"/>	PE-EL	17,6	140	8.0	3.690	5	010000361

Le **Standard Dimension Ratio (SDR)** est le rapport entre le diamètre extérieur d'un tube « d » et l'épaisseur de sa paroi « e ».

« SDR 11 » signifie que le diamètre du tube est 11 fois supérieur à l'épaisseur de sa paroi.

Un grand SDR indique une paroi fine pour un tube donné, donc moins robuste en pression. Un faible SDR indique une paroi épaisse, donc plus robuste en pression.

La valeur du SDR d'un tube correspond à une pression nominale supportée en **Bars**, quel que soit le diamètre du tube.



$$\varnothing_{int} = d - 2e$$

SDR	PN- Pression Nominale	
	PE 80	PE 100
41	3,2	4
33	4	5
26	5	6,3
17,6	7,5	9,6
17	8	10
11	12,5	16
7,4	20	25

Ex : un tube PE 100 avec un SDR de 17.6 supporte une pression de 9.6 bars

## DTS7 – Résultats de simulation en fonction des dimensions du ressort

Simulation N°1			Simulation N°2		
Diamètre du fil	<input type="text" value="10"/>	mm	Diamètre du fil	<input type="text" value="12"/>	mm
Nombre de spire totales	<input type="text" value="10"/>	#	Nombre de spire totales	<input type="text" value="10"/>	#
Diametre interieur	<input type="text" value="40"/>	mm	Diametre interieur	<input type="text" value="40"/>	mm
Diametre exterieur	<input type="text" value="70"/>	mm	Diametre exterieur	<input type="text" value="64"/>	mm
Course maxi	<input type="text" value="30"/>	mm	Course maxi	<input type="text" value="30"/>	mm
	<input type="button" value="Calculer"/>			<input type="button" value="Calculer"/>	
Raideur du ressort	<input type="text" value="70.212"/>	N/mm	Raideur du ressort	<input type="text" value="172.272"/>	N/mm
Force maximale	<input type="text" value="2081.584"/>	N	Force maximale	<input type="text" value="5107.366"/>	N
Simulation N°3			Simulation N°4		
Diamètre du fil	<input type="text" value="14"/>	mm	Diamètre du fil	<input type="text" value="7"/>	mm
Nombre de spire totales	<input type="text" value="13"/>	#	Nombre de spire totales	<input type="text" value="8"/>	#
Diametre interieur	<input type="text" value="40"/>	mm	Diametre interieur	<input type="text" value="50"/>	mm
Diametre exterieur	<input type="text" value="68"/>	mm	Diametre exterieur	<input type="text" value="64"/>	mm
Course maxi	<input type="text" value="30"/>	mm	Course maxi	<input type="text" value="30"/>	mm
	<input type="button" value="Calculer"/>			<input type="button" value="Calculer"/>	
Raideur du ressort	<input type="text" value="209.993"/>	N/mm	Raideur du ressort	<input type="text" value="19.878"/>	N/mm
Force maximale	<input type="text" value="6245.022"/>	N	Force maximale	<input type="text" value="587.158"/>	N
Simulation N°5			Simulation N°6		
Diamètre du fil	<input type="text" value="12"/>	mm	Diamètre du fil	<input type="text" value="13"/>	mm
Nombre de spire totales	<input type="text" value="7"/>	#	Nombre de spire totales	<input type="text" value="7"/>	#
Diametre interieur	<input type="text" value="50"/>	mm	Diametre interieur	<input type="text" value="50"/>	mm
Diametre exterieur	<input type="text" value="64"/>	mm	Diametre exterieur	<input type="text" value="76"/>	mm
Course maxi	<input type="text" value="30"/>	mm	Course maxi	<input type="text" value="30"/>	mm
	<input type="button" value="Calculer"/>			<input type="button" value="Calculer"/>	
Raideur du ressort	<input type="text" value="203.463"/>	N/mm	Raideur du ressort	<input type="text" value="207.557"/>	N/mm
Force maximale	<input type="text" value="5992.922"/>	N	Force maximale	<input type="text" value="6113.501"/>	N

**DOCUMENT RÉPONSES DRS1**

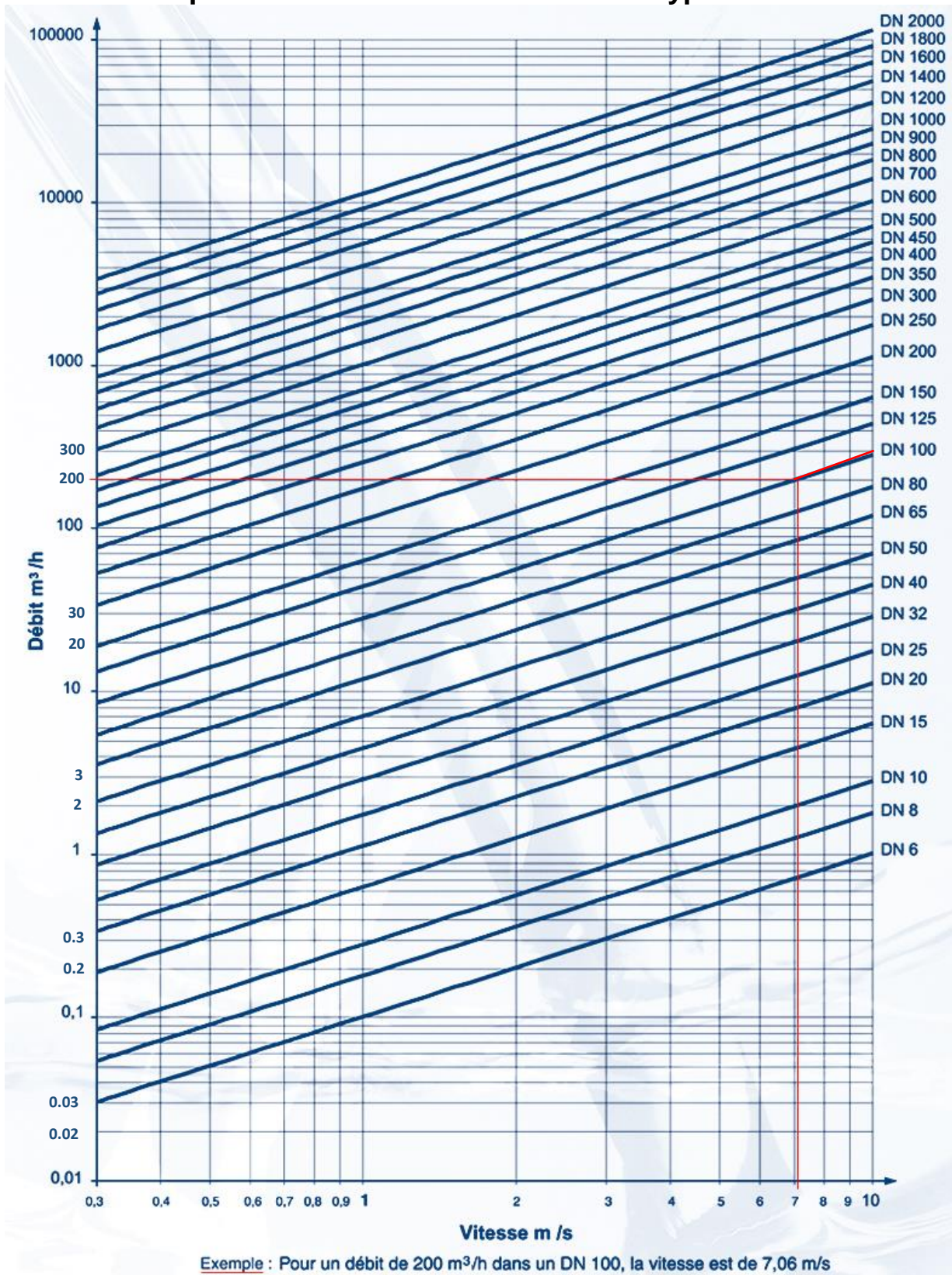
**Choix de l'épaisseur minimum de la tubulure en PE 100**

	Tubulures		
	Ep = 2.5 mm	Ep = 5 mm	Ep = 7.5 mm
Contrainte $\sigma_{\max}$ simulation (MPa)			
Contrainte max admissible avec coefficient de sécurité $\sigma_{\max CS}$ (MPa)			
Re (MPa)			
Condition de validité			
Validité	<input type="checkbox"/> Conforme <input type="checkbox"/> Non Conforme	<input type="checkbox"/> Conforme <input type="checkbox"/> Non Conforme	<input type="checkbox"/> Conforme <input type="checkbox"/> Non Conforme

**Conclusion :**



### Abaque Vitesse / débit en fonction du type de tubulure



Diamètre « DN » retenu :

