

Étude balistique d'un bloc de glace projeté d'une éolienne

Présentation du TIPE

Romain BROCHETON



Connecter les énergies d'avenir

Les infrastructures gazières

- 32 414 km de canalisations haute pression
 - $\approx 97\%$ du réseau est enterré
 - repérable par des bornes et balises aériennes en surface
- 26 stations de compression permettant de faire circuler le gaz dans le réseau (entre 15 et 20m/s)
- Canalisations en acier
- 74% du réseau est exploité à **67,7 bars** [1]

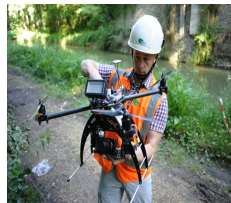


1. GRTGaz, Nos chiffres clés, juin 2018.

Surveillance du réseau

Une autre mission est de garantir la surveillance du réseau

- Surveillance pédestre, automobile et aérienne
 - Drones
 - Hélicoptères
 - Avions
- Maîtrise de l'urbanisme et des travaux tiers
 - Analyse des contraintes externes (vibratoires et surfaciques)
 - Prise en compte des projets d'urbanisme (dont les projets éoliens)



Le Projet

- Lors d'épisodes froids, des blocs de glace se forment sur les pâles des éoliennes
- Résistances chauffantes onéreuses
- Utilisation de systèmes de dégivrage automatique, qui attendent que le bloc de glace soit formé pour le faire fondre
- Si le bloc se décroche avant d'être fondu, il est dangereux pour les personnes et les ouvrages (d'après [2]).

Si un bloc de glace se décroche et tombe sur une canalisation de gaz, peut-il la percer ?

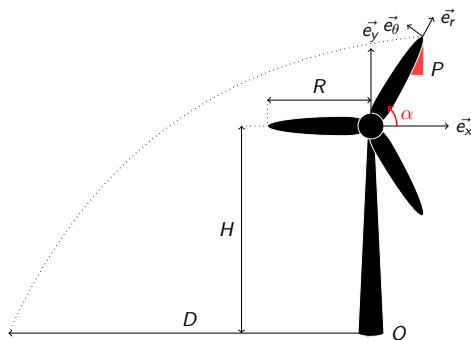


2. Fortin Guy et Laforte Jean-Louis, Modèle d'accrétion de glace sur un objet bidimensionnel fixe applicable aux pales d'éoliennes, 2004

- 1 Présentation de GRTGaz
- 2 Présentation du Projet
- 3 Distance de projection
 - Paramétrage
 - Calculs de la portée
 - Implémentation Python
- 4 Résistance
 - Modélisation
 - Résultats
- 5 Conclusion
- 6 Bibliographie



Paramétrage



H : Hauteur du moyeu (m)

R : Rayon des pales (m)

D : Distance d'éjection (m)

α : Angle d'éjection (rad)

2 : bloc de glace

1 : pale

0 : éolienne, sol



Calculs de la portée

Portée : distance horizontale parcourue par le projectile entre le moment où il est lancé et celui où il retombe sur le sol (d'après [3])

On définit $\omega_{10} = \dot{\alpha}$

$$\overrightarrow{V_{P,2/0}}(t=0) = R \cdot \omega_{10} \cdot \vec{e}_\theta = R \cdot \omega_{10} (-\sin(\alpha) \cdot \vec{e}_x + \cos(\alpha) \cdot \vec{e}_y)$$

On applique le Principe Fondamental de la Dynamique au bloc de glace {2} dans son mouvement par rapport à \mathcal{R}_0 dans la phase de vol ($t > 0$) :

$$m \cdot \overrightarrow{\gamma_{P,2/0}} = m \cdot \vec{g}$$

$$\Leftrightarrow \begin{cases} \gamma_x &= 0 \\ \gamma_y &= -g \end{cases}$$



Calculs de la portée

$$\begin{cases} V_x(t) &= V_{x0} \\ V_y(t) &= V_{y0} - gt \end{cases}$$

Conditions initiales en vitesse :

$$\begin{cases} V_x(t=0) &= -R \cdot \omega_{10} \cdot \sin(\alpha) &= V_{x0} \\ V_y(t=0) &= R \cdot \omega_{10} \cdot \cos(\alpha) &= V_{y0} \end{cases}$$

d'où

$$\overrightarrow{V_{P,2/0}} = -R \cdot \omega_{10} \cdot \sin(\alpha) \cdot \vec{e}_x + (R \cdot \omega_{10} \cdot \cos(\alpha) - gt) \cdot \vec{e}_y$$



Calculs de la portée

Conditions initiales en position :

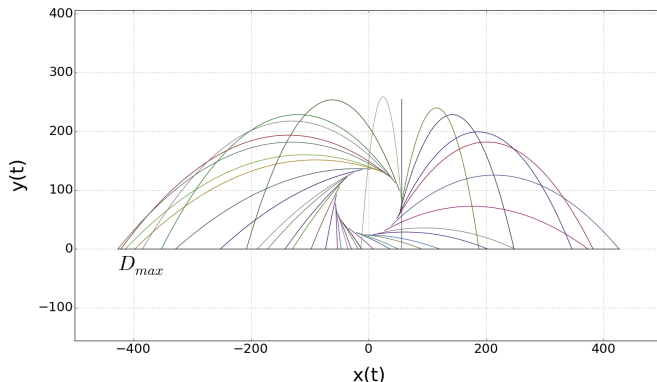
$$\overrightarrow{OP}(t=0) = R \cdot \cos(\alpha) \cdot \vec{e}_x + (R \cdot \sin(\alpha) + H) \cdot \vec{e}_y$$

On obtient :

$$\begin{cases} X(t) &= -R \cdot \omega_{10} \cdot \sin(\alpha) \cdot t + R \cdot \cos(\alpha) \\ Y(t) &= R \cdot \omega_{10} \cdot \cos(\alpha) \cdot t - \frac{1}{2} \cdot gt^2 + R \cdot \sin(\alpha) + H \end{cases}$$



Visualisation des trajectoires



Courbe obtenue avec les paramètres suivants :

- Vitesse de rotation : 10 tours / min
- $H = 80\text{m}$; $R = 56\text{m}$ (éolienne SIEMENS SWT108)

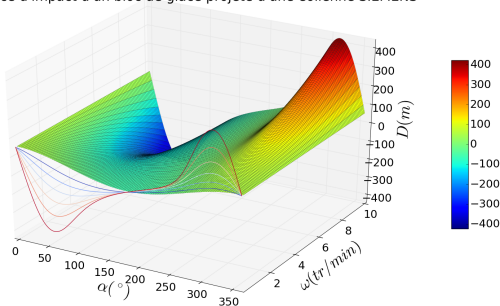
Résultats :

- Distance maximale (absolue) : 426,68 m
- Angle d'éjection : 290 degrés (discretisation de 10 degrés)



Courbe de la distance d'éjection

Distance d'impact d'un bloc de glace projeté d'une éolienne SIEMENS



Distance maximale atteinte : 426.75 mètres si :

- Angle d'éjection : 315 degrés
- Vitesse de rotation : 10 tours / min
- H = 80m ; R = 56m (éolienne SIEMENS SWT108)

Conditions limites et initiales

Étude dynamique

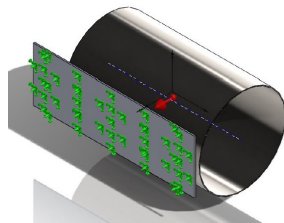
Canalisation DN600 (classe A) :

Diamètre : 638mm, Épaisseur : 4.6mm

Conditions initiales en vitesse et de pesanteur

Bloc de glace :

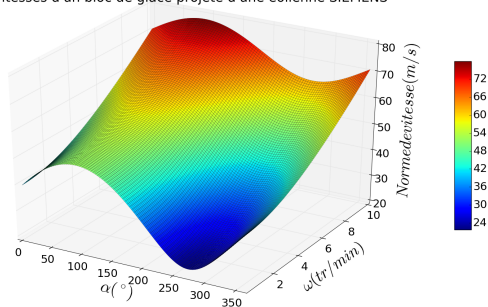
Conditions limites en déplacement nuls ; bloc considéré indéformable





Courbe de la vitesse d'impact

Vitesses d'un bloc de glace projeté d'une éolienne SIEMENS



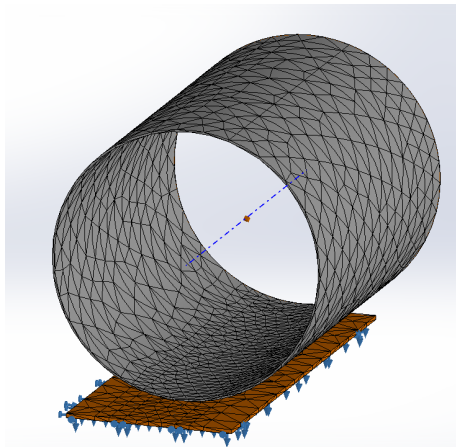
Norme de vitesse maximale atteinte à l'impact : $\simeq 78\text{m/s}$ si

- Angle d'éjection : $\simeq 90$ degrés
- Vitesse de rotation : 10 tours / min
- $H = 80\text{m}$; $R = 56\text{m}$ (éolienne SIEMENS SWT108)

Création du maillage

Maillage non uniforme :

La partie locale au contact est affinée par rapport au reste de la canalisation.

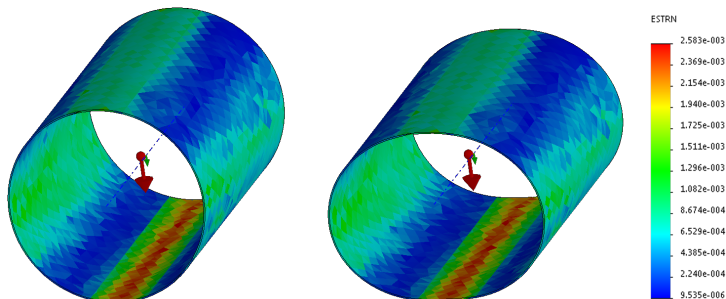




Résultats

Tracés des déformations

Impact à 78 m / s



État initial

Déformation maximale

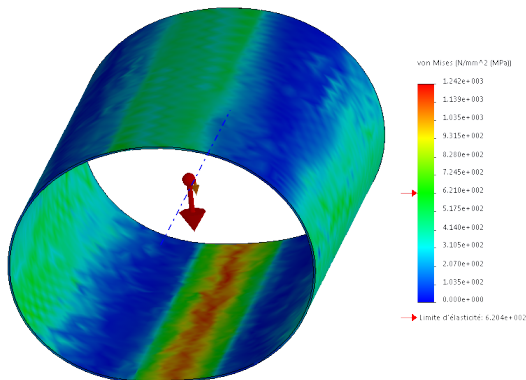
Déformation équivalente maximale de $2.583 \cdot 10^{-3}$



Résultats et Solutions

Tracés des contraintes de Von Mises

Impact à 78 m / s



Contrainte maximale : $\sigma = 1242 \text{ MPa}$

Limite élastique : $e = 620,4 \text{ MPa}$



Solutions proposées

GRTGaz met en oeuvre plusieurs installations de protection pour leurs ouvrages gaziers :

- Surépaisseur d'acier
- Plaque de protection

**Nouveau modèle
SolidWorks :**

Même diamètre
Nouvelle épaisseur
(50 mm)

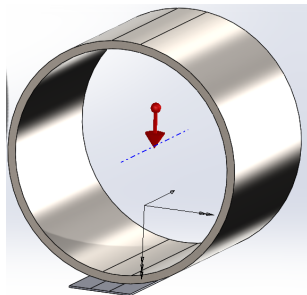


Résultats

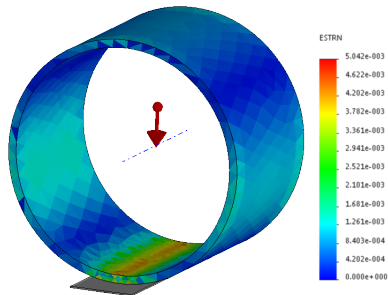
Surépaisseur d'acier

Tracés des déformations

Impact à 78 m / s



État initial

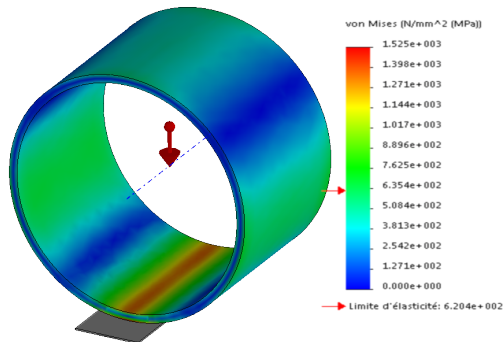


Déformation maximale

Déformation équivalente maximale de $5.042 \cdot 10^{-3}$

Vérification des solutions

Surépaisseur d'acier



**Tracés des
contraintes de
Von Mises
(non concluant)**

Contrainte de
1525 MPa
(1242 MPa
précédemment)

Conclusion

Pour une éolienne SIEMENS SWT108 :
(H = 80m, R = 56m, à 10 tours / min)

■ Projection du bloc de
glace jusqu'à 425m

■ Impact à 78m/s au
maximum

Mesures compensatoires	Sans	Avec
Déformations	$2.583 \cdot 10^{-3}$	$5.042 \cdot 10^{-3}$
Contraintes	1242 MPa	1525 MPa
Danger pour la population	Très important	Inconnu

[1] GRTGaz.

Nos chiffres clés, juin 2018.

<http://www.grtgaz.com/notre-entreprise/nos-chiffres-cles.html>.

[2] Fortin Guy et Laforte Jean-Louis.

Modèle d'accrétion de glace sur un objet bidimensionnel fixe applicable aux pales d'éoliennes.

Vertigo-la revue électronique en sciences de l'environnement, 2004.

[3] P. Rebetez.

Balistique, janvier 2017.

<http://owl-ge.ch/IMG/pdf/balistique.pdf>.