

Article

Étude sur la réponse induite par le vent et la déviation du vent

Contrôle de la structure du filet d'étanchéité aérien

Lignes de transmission

Meng Zhang, Guangqing Feng, Xu Zhang et Guifeng Zhao *



École de génie civil, Université de Zhengzhou, Zhengzhou 450001, Chine ; zhangmeng@zzu.edu.cn (MZ)

* Correspondance : gzfzha@zzu.edu.cn

Résumé : Les structures en filets d'étanchéité sont fréquemment utilisées comme dispositifs de protection pour les lignes de transport nouvellement construites qui croisent des lignes existantes. Ils visent à assurer la sécurité lors de la construction et de l'exploitation des lignes qui se croisent. Pour explorer les caractéristiques de réponse à la déflexion du vent des structures de filet d'étanchéité sous des charges de vent, un modèle de la structure de filet d'étanchéité a été créé à l'aide du logiciel ANSYS/APDL pour l'analyse par éléments finis. Ce modèle représente une structure aérienne de filet d'étanchéité s'étendant sur une ligne existante. Les résultats obtenus à partir des simulations par éléments finis s'alignent bien avec les calculs théoriques, indiquant la validité du modèle par éléments finis établi pour analyser avec précision la réponse induite par le vent de la structure du filet d'étanchéité. En s'appuyant sur cette base, l'étude a analysé l'impact de divers facteurs sur la déviation du filet d'étanchéité par le vent. Ces facteurs comprennent la portée, la vitesse du vent, la prétension du câble caténaire, l'angle de direction du vent, l'angle de disposition et la méthode d'installation des haubans supplémentaires. La recherche a étudié l'influence de ces facteurs sur la déviation par le vent de la structure du filet d'étanchéité. De plus, une proposition a été présentée pour organiser la structure de fermeture afin d'atténuer la déviation du vent. Cette proposition fournit des conseils précieux pour les considérations de conception et de sécurité des lignes de transport et structures nettes.



Citation : Zhang, M. ; Feng, G. ; Zhang, X. ; Zhao, G. Étude sur la réponse induite par le vent et le contrôle de la déflexion du vent de la structure aérienne du filet d'étanchéité couvrant les lignes de transport. *Bâtiments* 2023, 13, 2947. <https://doi.org/10.3390/building13122947>

Rédacteur académique : Shaohong Cheng

Reçu : 27 septembre 2023

Révisé : 22 novembre 2023

Accepté : 24 novembre 2023

Publié : 26 novembre 2023



Copyright : © 2023 par les auteurs.

Licencié MDPI, Bâle, Suisse.

Cet article est un article en libre accès distribué selon les termes et conditions des Creative Commons

Licence d'attribution (CC BY) (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Mots-clés : structure de filet d'étanchéité ; réponse induite par le vent ; contrôle de la déviation du vent ; haubans supplémentaires

1. Introduction

Avec la demande mondiale croissante d'électricité, il devient de plus en plus nécessaire de développer des projets de transport d'électricité à longue distance et à grande capacité qui s'étendent sur plusieurs régions. De plus, il existe une tendance croissante à construire de nouvelles lignes de transmission qui traversent les lignes électriques, les voies ferrées, les autoroutes, les voies navigables, les terrains élevés, les vallées, les terres agricoles et les forêts vierges, entre autres domaines spécialisés [1]. L'installation de nouvelles lignes de transport nécessite souvent l'exploitation ininterrompue des lignes existantes qu'elles croisent. Pour optimiser l'utilisation de la zone traversée et assurer sa protection, une structure aérienne de filet d'étanchéité est couramment utilisée comme mesure de sécurité lors de l'installation de ces lignes de transmission [2,3], comme le montre la figure 1.

La structure de filet d'étanchéité installée dans la ligne aérienne de transport traverse les voies ferrées, les autoroutes, les voies navigables et d'autres lignes existantes, comme le montre la figure 2. Sa fonction principale est d'intercepter la ligne brisée qui tombe et d'éviter tout impact en cas de rupture de ligne. Pour les circuits existants, assurer une distance de sécurité entre les deux pour protéger la sécurité des circuits existants [4]. Pour mener une étude complète de sécurité de la structure du filet d'étanchéité des lignes de transport, il est impératif de garantir que la structure d'étanchéité répond non seulement aux exigences de résistance pour intercepter les lignes brisées, mais qu'elle intercepte également efficacement les lignes de transport en chute dans une plage spécifique.

efficacement les lignes de transmission en chute dans une plage spécifique.



Figure 1. Diagramme schématique de la structure du fil de scellement



(b) Filet de scellement enjambant les autoroutes

Figure 1. Diagramme schématique de la structure du filet d'étranchéité.

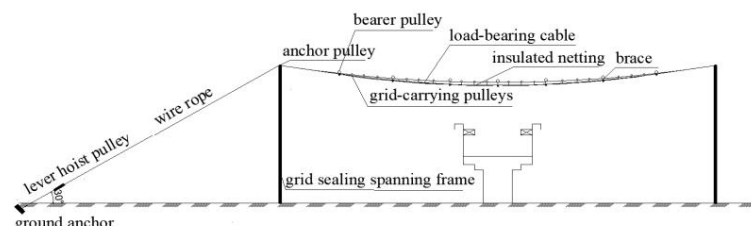


Figure 2. Disposition de la structure du filet d'étanchéité

Figure 2. Disposition de la structure du filet d'étanchéité.

[illegible]

Cela provoque des oscillations qui entravent sa capacité à intercepter efficacement les lignes brisées ou même permettent l'intrusion d'autres lignes, conduisant à des accidents potentiels. Par conséquent, la structure du filet d'étanchéité présente des caractéristiques non linéaires évidentes sous les charges de vent [10]. Basé

Face à cette caractéristique, les chercheurs ont mené des études sur les structures de filets d'étanchéité ainsi que sur les structures similaires aux structures de filets d'étanchéité, notamment les filets de câbles, les ponts suspendus humanoïdes et les structures de filets de protection.

Vaezzadeh et coll. [11] ont trouvé la résistance à l'effondrement des structures en réseaux de câbles, en considérant 24 prototypes et 168 scénarios d'effondrement. Le comportement hautement non linéaire des câbles pose des problèmes, entraînant des déplacements et des instabilités importants. La rupture des dispositifs de retenue a été identifiée comme le scénario d'effondrement le plus destructeur, affectant particulièrement les colonnes d'angle des réseaux de câbles à plusieurs travées. L'analyse a utilisé une procédure pseudodynamique non linéaire étape par étape avec une modélisation précise de la rupture. Wu et coll. [12] se sont concentrés sur le contrôle actif des vibrations des structures de réseaux de câbles à l'aide d'actionneurs piézoélectriques empilés. Une méthode non linéaire a été proposée pour résoudre les problèmes de vibrations en présence d'incertitudes. Le modèle incertain a été dérivé d'un modèle nominal, et un contrôle par rétroaction d'état non linéaire a été utilisé. L'approche non linéaire a démontré sa faisabilité, sa robustesse et ses performances améliorées par rapport au contrôle linéaire. Salvatori et coll. [13] ont analysé les effets du vent sur les ponts suspendus par simulation numérique, en tenant compte des non-linéarités structurelles. Les effets d'auto-excitation et les secousses ont été inclus. La réponse aux vents turbulents a été évaluée en utilisant une approche de Monte Carlo. Un modèle structurel avec deux sections transversales a capturé les caractéristiques clés. Les non-linéarités structurelles limitent les amplitudes d'oscillation et un écoulement entièrement corrélé peut avoir sous-estimé la réponse. Escallon et coll. [14] ont développé un modèle par éléments finis pour simuler avec précision le comportement mécanique des grillages à mailles losangées dans les barrières de protection contre les chutes de pierres. Le modèle a reproduit avec succès la réponse de déplacement de force non linéaire observée lors d'essais en laboratoire et d'un essai de barrière à grande échelle. Khalkhaliha et al. [15] se sont concentrés sur la dynamique structurelle d'une structure de réseau de câbles en forme de selle avec des câbles précontraints. Une analyse dynamique paramétrique non linéaire a été réalisée pour évaluer la réponse du système à différentes masses, géométries, prétensions et amplitudes d'excitation. Un modèle équivalent à un seul degré de liberté a estimé avec précision la réponse du déplacement, et un algorithme de contrôle actif non linéaire a réduit efficacement la réponse structurelle à l'excitation transitoire du vent. Liou et coll. [16] ont décrit les performances d'une série de filets de sécurité de différentes configurations testés sous des impacts à faible vitesse. Les performances globales des différentes configurations des réseaux sont également présentées. Des conclusions et des recommandations liées à la configuration du réseau et aux détails de connexion sont fournies. Bertolo et coll. [17] ont proposé une procédure de test pour évaluer les performances globales du filet de protection. Ils ont constaté que les résultats des tests du filet de protection capturaient efficacement la courbe charge-déplacement pendant les tests, fournissant ainsi une représentation précise de son comportement. Escallon et coll. [18] ont développé un modèle d'éléments finis pour analyser les filets de protection. Ce modèle intègre la plasticité et le comportement aux dommages du matériau et représente avec précision les courbes charge-déplacement non linéaires observées lors d'essais expérimentaux. Wang et coll. [19] ont mené un essai en soufflerie en utilisant un modèle réduit pour analyser les méthodes permettant d'atténuer la déflexion induite par le vent dans les structures de filets d'étanchéité. Ils ont spécifiquement étudié l'impact de l'utilisation de câbles en forme de huit à différents angles et positions pour contrôler la déviation du filet d'étanchéité par le vent. Dans le domaine de l'ingénierie des structures, des recherches ont été menées tant au niveau national qu'international pour prendre en compte de manière exhaustive divers facteurs lors de l'analyse des structures. Ces facteurs comprennent les propriétés des matériaux, les formes géométriques, les conditions aux limites ainsi que la force et la direction des charges de vent. Pour mieux comprendre des structures similaires, les chercheurs ont utilisé des méthodes de simulation numérique et des approches de tests expérimentaux appropriées. Ces recherches se sont concentrées sur l'étude des réponses non linéaires présentées par de telles structures, y compris le comportement non linéaire des matériaux, les effets de non-linéarité géométrique et la non-linéarité de contact.

Selon des recherches antérieures, des chercheurs nationaux et internationaux ont étudié de manière approfondie les matériaux, les performances mécaniques et la résistance des structures en filets d'étanchéité. En conséquence, les structures en filets d'étanchéité ont été largement utilisées dans les projets d'ingénierie, soulignant l'importance d'assurer leur sécurité et leur fiabilité. Cependant, les recherches actuelles manquent d'études complètes et de considération suffisante de la réponse aux vibrations induites par le vent et du contrôle du déplacement induit par le vent des structures de filets d'étanchéité sous l'effet du vent.

conditions de chargement. Cet écart existe principalement en raison de la nature complexe et interconnectée du problème. L'influence de la charge de vent sur les structures en filet d'étanchéité implique divers facteurs, notamment la réponse dynamique de la structure, les caractéristiques de la charge de vent et la forme géométrique, qui doivent tous être considérés de manière globale. De plus, les structures en filet scellées sont susceptibles de subir des déformations et des déplacements importants en cas de vents violents, ce qui peut entraîner de graves conséquences telles que des dommages structurels ou des limitations fonctionnelles. Par conséquent, l'étude du contrôle des déplacements induits par le vent revêt également une grande importance. Pour améliorer les performances de sécurité des structures en filets d'étanchéité, il est crucial de mener des recherches et des analyses approfondies sur la réponse aux vibrations induites par le vent et les déplacements induits par le vent.

Cette étude analyse de manière exhaustive la réponse induite par le vent des structures de filets d'étanchéité pour simuler leur comportement sous l'action du vent. L'analyse prend en compte des facteurs tels que la distance de décrochage, la vitesse du vent, la force de pré-tension des câbles porteurs et l'angle du vent. De plus, l'étude examine l'impact des angles de disposition et des méthodes de câbles de tension supplémentaires sur la déviation induite par le vent des structures de filets d'étanchéité. Sur la base de ces résultats, des recommandations sont fournies concernant la disposition des structures de filets d'étanchéité afin de prévenir et de contrôler efficacement les déflexions induites par le vent. Cette recherche contribue à compléter les progrès actuels en matière d'analyse des vibrations du vent et de contrôle du déplacement du vent et établit une base théorique pour améliorer davantage les performances de sécurité des structures en filets d'étanchéité.

2. Simulation des charges de vent sur les structures de filets d'étanchéité

Dans les structures en filet d'étanchéité, les charges de vent ont un impact significatif en raison de leurs caractéristiques inhérentes. Il est donc essentiel d'étudier les mécanismes de réponse des structures en filet d'étanchéité lorsqu'elles sont soumises à des charges de vent. Cela implique d'obtenir des informations spécifiques sur le champ de vent et les charges de vent agissant sur le filet d'étanchéité. Dans ce chapitre, nous nous concentrerons principalement sur la présentation des connaissances théoriques sur le vent et la simulation du champ de vent là où se trouvent les structures de filets d'étanchéité. Les connaissances théoriques fondamentales du vent comprennent divers aspects, tels que les caractéristiques moyennes du vent et les caractéristiques du vent turbulent. Dans cette étude, les caractéristiques du vent pulsé ont été prises en compte et la méthode de superposition harmonique [20] a été utilisée. De plus, le spectre de Davenport [21] a été utilisé comme spectre cible pour simuler le champ de vent à différentes vitesses de vent. La précision des résultats de simulation a été validée, puis la vitesse du vent a été convertie en historique temporel de la charge de vent. Ce profil de charge de vent converti a servi de charge d'entrée pour la structure, établissant ainsi les bases de l'étude de l'analyse temporelle de la réponse vibratoire induite par le vent dans la structure nette.

2.1. Caractéristiques du vent

Le vent fait référence au mouvement de l'air par rapport à la surface de la Terre, entraînant un flux d'air à une vitesse spécifique. L'analyse des données de vent observées révèle que la variation de la vitesse du vent au fil du temps comprend deux composantes principales. La première composante est la vitesse moyenne du vent, représentée par U , qui, malgré sa nature dynamique, présente un comportement proche d'une force statique. La deuxième composante est la vitesse du vent pulsé u , caractérisée par des fluctuations qui introduisent des effets dynamiques sur les structures. L'impact de ces deux composantes de la vitesse du vent sur les structures peut être examiné indépendamment. Elle peut être réalisée en considérant la contribution à la fois du vent moyen analysé en termes de forces statiques et du vent pulsé étudié en termes de forces dynamiques.

2.2. Caractéristiques moyennes du vent

Au cours d'un intervalle de temps spécifique, la force exercée par le vent moyen sur différents types de structures reste constante en ampleur et en direction. L'ampleur de la vitesse moyenne du vent est affectée par la hauteur de l'emplacement simulé. Au sein du

couche limite atmosphérique, la variation de la vitesse moyenne du vent avec l'altitude est caractérisée par le profil moyen du vent. L'équation du profil du vent selon la loi de puissance est donnée comme suit :

$$\overline{U} = \left(\frac{z}{Z_s} \right)^\alpha$$

(1)

Dans cette expression, $\overline{U}$ représente la vitesse moyenne du vent à une hauteur donnée, z représente la hauteur en un point donné, $\overline{U}_s$ représente la vitesse moyenne du vent à la hauteur de référence. hauteur, Z_s représente la hauteur de référence, et α représente les coefficients de rugosité.

Les réglementations sur la charge des bâtiments exigent l'utilisation d'un profil de vent exponentiel Équation (1) pour déterminer les charges de vent sur les structures. Cette équation est classée en quatre groupes basés dans différentes conditions de rugosité du sol, avec des coefficients de rugosité correspondants α affectés à différents types de terrains. Ces coefficients sont détaillés dans le tableau 1.

Tableau 1. Coefficient de rugosité et hauteur du vent sous différents reliefs.

Catégorie	Description géomorphologique Mers,	zG (m)	α
UN	îles, côtes, bords de lacs et régions arides.	300	0,12
B	Champs, zones rurales, jungles ainsi que villes petites et moyennes peu peuplées et banlieues urbaines.	350	0,16
C	Zones urbaines avec des grappes de bâtiments denses.	400	0,22
D	Zones urbaines des grandes villes avec des agglomérations denses et un grand nombre de immeubles de grande hauteur.	450	0,30

2.3. Caractéristiques du vent pulsé

Le vent pulsé démontre des fluctuations stochastiques dans le temps et dans l'espace ; cependant , ses propriétés fondamentales peuvent encore être capturées par des approches probabilistes. L'analyse statistique d'échantillons de séries chronologiques de vitesse du vent obtenus à partir de mesures empiriques montre que le vent turbulent présente une non-stationnarité notable, ce qui n'est pas le cas. en fonction du vent moyen. Cette non-stationnarité peut être représentée de manière adéquate par un Processus stochastique stationnaire gaussien avec une moyenne nulle.

La réponse dynamique des structures aux vibrations provoquées par le vent dépend principalement de le mouvement turbulent du vent fluctuant. La turbulence se produit à la suite de l'interaction parmi les petits vortex formés en raison d'obstructions dans le flux du vent. La caractérisation de la turbulence implique quatre éléments essentiels : l'intensité de la turbulence, l'échelle intégrale de la turbulence, spectres de vitesse du vent fluctuante turbulente et densité spectrale croisée.

L'intensité des pulsations est une mesure couramment utilisée pour caractériser l'atmosphère. turbulence. Plus précisément, il quantifie le niveau de turbulence dans le sens du courant à un moment donné. étant donné la hauteur z , et $I(z)$ est défini comme :

$$I_e(z) = \sigma_v f(z)/\overline{U(z)}$$

(2)

Dans l'équation, $I(z)$ désigne l'intensité de la turbulence à la hauteur z , $\sigma_v f(z)$ représente la valeur quadratique moyenne de la vitesse du vent fluctuant dans le sens du courant, et $\overline{U(z)}$ correspond à la vitesse moyenne du vent à la hauteur z . En raison de la diminution progressive de la moyenne des racines valeur carrée de la vitesse du vent fluctuante $\sigma_v f(z)$ et de l'augmentation concomitante de la vitesse moyenne du vent $\overline{U(z)}$ avec l'augmentation de la hauteur, l'intensité de la turbulence $I(z)$ présente un tendance à la baisse à mesure que la taille augmente.

Spectre d'énergie éolienne pulsée

Dans les applications pratiques, le vent pulsé est souvent rencontré comme un vent pulsé avec trois dimensions : dans la direction du vent, perpendiculairement à la direction du vent, et turbulences verticales. La turbulence verticale a une valeur numérique négligeable et peut être négligé quant à son impact sur la structure. La turbulence du vent traversier est également relativement petit et son mécanisme d'action est complexe. Par conséquent, ce chapitre uniquement

se concentre sur l'influence des turbulences en aval sur la structure. Le spectre de l'énergie éolienne pulsée décrit la répartition de l'énergie éolienne pulsée dans le domaine fréquentiel. Il reflète la contribution des différentes composantes de fréquence du vent pulsé à l'énergie cinétique totale de la pulsation turbulente. Sur la base des caractéristiques de grande portée et de douceur de la structure du réseau de câbles et de la variation minimale de la hauteur du plan de fermeture du réseau, le spectre de vitesse du vent de Davenport, qui reste constant le long de la hauteur, est utilisé. L'expression du spectre de vitesse du vent de Davenport est la suivante :

$$S_v(n) = 4k v_{10}^2 \frac{1}{n(1 + x^2)^{4/3}} \quad (3)$$

où $x = 1.200 n/v_{10}$, $S_v(n)$ est la densité spectrale de puissance, k est le coefficient de traînée au sol, n est la fréquence fluctuante du vent et v_{10} est la vitesse moyenne du vent convertie en hauteur standard.

Les vents pulsés présentent à la fois des propriétés d'autocorrélation et des corrélations spatiales [22]. La corrélation spatiale des vents pulsés peut être décrite à l'aide de la fonction de cohérence, qui peut être représentée mathématiquement par une fonction de décroissance exponentielle. L'expression pour la fonction de cohérence est la suivante :

$$\text{Coh}(\omega) = \exp -C \frac{\omega r}{2\pi v(z)} \quad (4)$$

où C est le coefficient d'atténuation, ω est la fréquence circulaire, r est la distance entre deux points de l'espace et $v(z)$ est la vitesse moyenne du vent à la hauteur z .

La fonction de cohérence exponentielle est influencée par la distance, la fréquence et la vitesse moyenne du vent. On peut en déduire que lorsque la distance entre deux points diminue, la fréquence diminue, la vitesse moyenne du vent augmente et la corrélation spatiale devient plus forte.

$$\text{Coh}(\omega) = \exp \frac{-2n \left(c_x^2 (x_i - x_j)^2 + c_y^2 (y_i - y_j)^2 + c_z^2 (z_i - z_j)^2 \right)}{v(z_i) + v(z_j)} \quad (5)$$

où c_x , c_y et c_z sont les coefficients d'atténuation spatiale dans les directions x , y et z , respectivement. D'après l'expérience, les coefficients d'atténuation spatiale dans les trois directions sont fixés à 16, 8 et 10. $v(z_i)$ et $v(z_j)$ sont les vitesses moyennes du vent à chaque hauteur pour les points i et j , respectivement.

2.4. Simulation de l'historique de la vitesse du vent

Dans cette étude, l'analyse de la réponse aux vibrations du vent de la structure du filet d'étanchéité est réalisée à l'aide de la méthode du domaine temporel. Avant l'analyse, il est nécessaire de simuler l'évolution temporelle de la vitesse du vent pour la structure. La simulation utilise plusieurs paramètres clés, présentés dans le tableau 2.

Dans le cas de la structure de grille de 200 m de portée, les historiques de vitesse du vent en 61 points ont été simulés à l'aide du logiciel MATLAB. Compte tenu de la simulation de la vitesse du vent dans cette étude, une large gamme de vitesses du vent a été prise en compte. Cependant, pour les besoins de cette étude, nous présentons les résultats pour une vitesse de base du vent de 10 m/s. Les positions des 61 points de simulation sont indiquées sur la figure 3. La courbe de l'historique temporel de la vitesse du vent pulsé au nœud où le filet d'étanchéité s'étend au milieu et l'auto-alimentation est affichée sur la figure 4.

7 sur 33

Dans le cadre de l'étude de base du grillon (2022), les historiques de vitesse du vent à 61 points ont été classés en fonction du seuil de l'ETL. Considérant la simulation du vent de rugosité du sol 0.16, une large gamme de vitesses du vent a été prise en compte. Cependant, pour la pur Spectre de puissance cible Spectre de Davenport Dans le cadre de cette étude, nous présentons les résultats pour la vitesse de base du vent de 10 m/s. La position des 61 points de simulation sont indiquées sur la figure 3. La courbe des pulsations Temps total Intervalle de temps de l'historique (s) de la vitesse du vent 3000,01 historique Intervalle de temps de l'historique (s) du fillet d'étanchéité s'étend au milieu 2048 fréquence 0,001/10



Après la figure 4, la distribution stochastique de la vitesse du vent simulée sur le temps s'avère indépendante de ce qui correspond aux caractéristiques de la pulsation du vent. D'après la figure 4, la distribution stochastique de la vitesse du vent simulée dans le temps se révèle indépendante, ce qui correspond aux caractéristiques du vent pulsé démontre un alignement plus étroit avec le spectre de Davenport. Ces résultats indiquent que la simulation établit un alignement plus étroit avec le spectre de Davenport. Ces résultats indiquent que le

où ρ est la densité de l'air ; U_z () et $(.)_{zt}$ sont le vent moyen et pulsé

structure. Plus précisément, la charge de vent pulsé doit être appliquée à la charge désignée
Point sur la structure du filet d'étanchéité pour des calculs précis. La charge de vent appliquée au
La ligne sur le filet d'étanchéité peut être déterminée comme suit :

$$F(t) = \frac{1}{2} \rho (U(z) + \mu(z, t))^2 B(z) C(z) \tag{6}$$

où ρ est la densité de l'air ; $U(z)$ et $\mu(z, t)$ sont les vitesses moyennes et pulsées du vent à la hauteur z , respectivement ; $B(z)$ est la largeur projetée de la structure dans le vent vertical direction; et $C(z)$ est le facteur de forme de la charge de vent de la structure, selon la norme DL/T 5486-2020 « Spécification technique pour la conception des structures porteuses en acier de ligne aérienne de transmission » [23]. Lorsque la direction du vent s'aligne avec le vent aérien Ligne de transmission à un angle spécifique, les charges de vent sur la verticale et la ligne de transmission les composantes à la baisse sont déterminées sur la base des valeurs spécifiées dans le tableau 3. Cela vaut la peine notant que les niveaux de charge de vent subis par la structure du filet d'étanchéité et le conducteur sont comparables. Par conséquent, pour le composant du filet d'étanchéité, différents angles de vent dans le les directions verticales et descendantes sont également choisies en fonction des valeurs fournies dans le tableau 3.

Tableau 3. Charges de vent sur les lignes de fermeture sous vents angulaires.

Angle de direction du vent θ (degrés)	Direction X	Direction Y
0	0F (t)	0,25 F(t)
30	0,25 F(t)	0,19 F(t)
45	0,50 F(t)	0,13 F(t)
60	0,75 F(t)	0,06 F(t)
90	F(t)	0

3. Construction d'un modèle numérique et analyse de la réponse induite par le vent du Structure de la grille de fermeture

3.1. Modèle d'éléments finis

Cette étude se concentre sur l'étude de la structure d'étanchéité aérienne associée avec une nouvelle ligne de transmission de 500 kV. La structure de filet d'étanchéité comprend des câbles porteurs, un filet de corde isolant, des entretoises isolantes, un cadre de levage, des câbles de guidage, blocs de levier, blocs de support et ancrages au sol. Les câbles porteurs à l'intérieur du Les filets d'étanchéité sont installés sur le cadre de couverture via des poulies de support et ancrés au mis à la terre à l'aide de câbles en acier. Le cadre couvrant sert principalement à la fixation et support, exerçant une influence minimale sur la déviation du vent de la structure du filet d'étanchéité. Par conséquent, l'impact du cadre de couverture sur la déviation au vent du joint d'étanchéité net n'a pas été pris en compte dans cette étude. De plus, pour des raisons de commodité de modélisation, cette étude ne prend pas en compte les effets des lignes de traction, des palans manuels, des lignes de guidage et ancrages au sol sur la fermeture du filet. Lorsque la nouvelle ligne de transmission crociera une ligne existante en cours de construction, le filet d'étanchéité couvrant n'est pas mis en œuvre avec un cadre couvrant. Au lieu de cela, une disposition locale du filet de scellement est adoptée, et le filet de scellement prend la forme d'une combinaison de filet et de poteaux. Les câbles porteurs sont suspendus à hauteurs égales.

3.1.1. Paramètres du modèle d'éléments finis

Les paramètres associés à la structure du filet d'étanchéité ont été calculés sur la base de les lignes directrices fournies dans le « Construction Technology Guide for Tension Stringing of Ligne de transmission aérienne lors du franchissement de lignes sous tension sans trame croisée » [24]. Les calculs ont déterminé que le filet de chasse avait une longueur de 50 m et une largeur de 8 m. Les câbles porteurs étaient suspendus à une hauteur de 30 m aux deux extrémités. Sur le net Pour l'étanchéité, 10 filets de corde isolants ont été installés, chaque filet de corde mesurant 8 m sur 5 m. De plus, un total de 11 supports isolants ont été positionnés à des intervalles de 5 m à l'intérieur du filet. dispositif de scellement.

Les câbles porteurs utilisés dans la structure du filet d'étanchéité sont composés de Dyneema cordes d'un diamètre de 16 mm, pouvant résister à une tension de rupture de 215 kN. De l'autre À la main, les cordes isolantes sont fabriquées à partir de cordes en nylon mesurant 10 mm de diamètre. Les entretoises isolantes sont des entretoises FRP ordinaires, avec un diamètre intérieur de 34 mm et un diamètre extérieur de 50 mm.

Le facteur de sécurité du câble caténaire est :

$$kW = \frac{HP}{Hs}$$

(7)

où Hp est la tension de rupture du câble chargé et Hs est la tension exercée sur le câble chargé. câble. Conformément aux directives fournies dans « Technologie de construction des frais généraux Lignes de transport d'électricité sur les chemins de fer à grande vitesse » [25], il est nécessaire de garantir que le facteur de sécurité intégré du câble porteur répond aux exigences des spécifications et n'est pas inférieur à 6.

Les principaux paramètres structurels du filet d'étanchéité sont présentés dans le tableau 4.

Tableau 4. Principaux paramètres structurels du filet d'étanchéité.

Numéro de série Non Bâtiments-2023,		Caractéristiques	Quantité	Poids calculé 0,189 kg/	Utiliser10 sur 34
13, x	1	Corde Dyneema	16	n × 2 bâtons	Câble porteur
	2	Filet de corde isolé	10	10 feuilles	Réseau d'étanchéité
	3	Entretoise FRP ordinaire in34, out50 3.1.2.	11 bâton	5,6 kg/pièce	Entretoises isolées

Paramètres clés de la simulation

Cette étude utilise le logiciel d'éléments finis ANSYS pour effectuer une analyse dynamique sur une structure de filet d'étanchéité. Lors de la simulation par éléments finis pour le ca Cette étude utilise le logiciel d'éléments finis ANSYS pour effectuer une analyse dynamique sur un structure de filet d'étanchéité. Lors de la simulation par éléments finis pour les systèmes à haubans structure, la sélection des types d'éléments appropriés est de la plus haute importance. Cela garantit une modélisation et une analyse précises de la réponse vibratoire induite par le vent des câbles. Le conducteur, le câble porteur et le filet isolant sont considérés comme flexibles, et l'analyse précise de la réponse vibratoire des câbles induite par le vent. Le conducteur, le câble porteur et le filet isolant sont considérés comme des structures flexibles et l'unité LINK10 est choisie. L'entretoise isolante est classée comme une déformation linéaire 3D et les entretoises sont réglées pour correspondre à l'échelle d'un tube rond, à l'aide de l'unité de faisceau BEAM188 [26]. Dans le modèle éléments finis de la structure du filet d'étanchéité, il y a 2017 nœuds et 3616 éléments. Dans la structure du filet d'étanchéité, la déformation est importante lorsqu'elle supporte une charge due à sa faible rigidité. Il est donc essentiel d'établir une équation d'équilibre pour position déformée et trouver la forme appropriée [27]. Pour y parvenir, la densité de force Cette méthode est utilisée dans la modélisation du filet d'étanchéité [28]. La figure 5 illustre le fini modèle d'élément obtenu après recherche de forme.

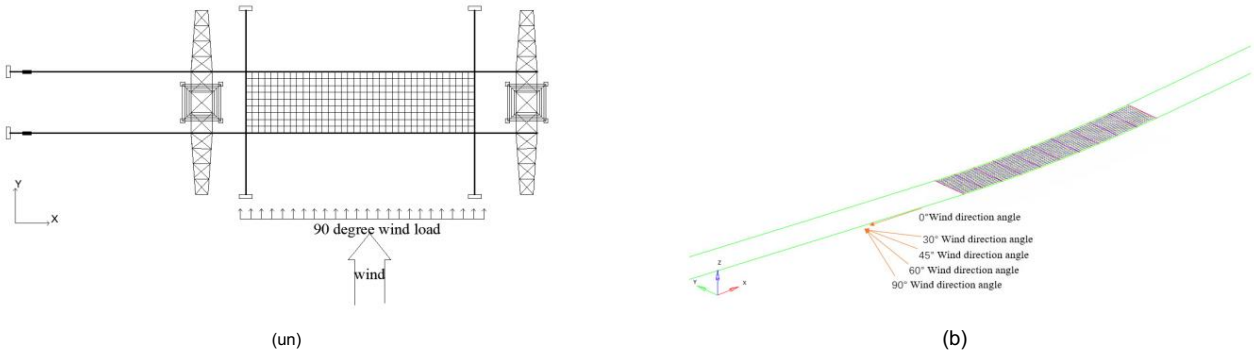


Figure 5. Modèle d'éléments finis et angle de direction du vent. (a) Direction du vent de 90° agissant sur le structure. (b) Modèle par éléments finis de la structure du filet d'étanchéité.

3.1.3. Validation du modèle

Valider l'exactitude et la validité du modèle d'éléments finis pour le filet d'étanchéité structure, le filet d'étanchéité façonné subit un processus de vérification. Conformément à la méthode de calcul théorique décrite dans le « Construction Technology Guide for Ten sion de cordage de la ligne aérienne de transmission lors du franchissement de lignes sous tension sans Cross Frame » [24], le statisme d'arc correspondant du filet d'étanchéité couvrant est calculé.

3.1.3. Validation du modèle

Valider l'exactitude et la validité du modèle d'éléments finis pour le filet d'étanchéité structure, le filet d'étanchéité façonné subit un processus de vérification. Conformément à méthode de calcul théorique décrite dans le « Construction Technology Guide for Tension Enfilage d'une ligne de transmission aérienne lors du franchissement de lignes sous tension sans croisement Frame » [24], le statisme d'arc correspondant du filet d'étanchéité couvrant est calculé. Ensuite , les résultats sont comparés à ceux obtenus à partir de la simulation par éléments finis pour assurer leur cohérence.

Dans les cas où la différence de hauteur de l'engrenage couvrant est égale à zéro, l'arc l'affaissement du filet d'étanchéité est mesuré au milieu de la travée. Étant donné que l'affaissement de l'arc de le filet d'étanchéité est influencé par plusieurs facteurs, notamment la distance de décrochage de la travée, la prétension du câble porteur, de la forme du filet d'étanchéité et des propriétés du matériau, les variables restantes sont maintenues constantes. En faisant varier la distance de décrochage de la travée et en tenant compte de la prétension du câble de le filet d'étanchéité comme variable indépendante, une analyse comparative entre les valeurs théoriques les valeurs et les résultats de simulation peuvent être effectués.

(1) L'espacement des décrochages du filet d'étanchéité est ajusté, l'espacement des décrochages étant variable. et la prétension des câbles porteurs fixée à 10 kN. Une comparaison entre le calcul et les valeurs théoriques du statisme de l'arc pour différents espacements de décrochage du filet d'étanchéité sont présentés dans le tableau 5.

Tableau 5. Comparaison des résultats des calculs.

Rapport de démultiplication (m)	Valeur calculée (m) (a)	Valeur théorique (m) (b)	Erreur (%) ((b) – (a))/(b)
100	2,56	2,64	3.03
150	4.36	4,59	5.01
200	6.19	6.54	5h35
250	8.04	8.57	6.18
300	9.91	10.58	6.33

Sur la base des résultats présentés dans le tableau 5, on peut conclure que la modification du La distance de décrochage du treillis d'étanchéité entraîne une erreur minimale entre le calcul et valeurs théoriques de la simulation par modèle d'éléments finis. L'erreur maximale observée est seulement 6,33%, ce qui indique la fiabilité du modèle.

(2) De plus, la prétension du câble porteur est modifiée, gardant la prétension comme variable et une distance de 200 m entre les stalles du filet d'étanchéité. Puis un une comparaison est effectuée entre les valeurs calculées et théoriques de la prétension. La relation entre l'affaissement de l'arc de la structure du filet d'étanchéité est également examinée et la les résultats sont résumés dans le tableau 6.

Tableau 6. Tableau comparatif des résultats de calcul.

Prétension (kN)	Valeur calculée (m) (a)	Valeur théorique (m) (b)	Erreur (%) ((b) – (a))/(b)
6	6,83	7,45	8.32
8	6,50	6,93	6h20
10	6,19	6,54	5h35
12	5,88	6,23	5,62
14	5,58	5,93	5,90

Du tableau 6, on peut déduire que lorsque l'ampleur de la force du câble porteur la prétension est ajustée, la différence entre la valeur calculée et la valeur théorique des résultats de simulation du modèle d'éléments finis est négligeable. L'erreur maximale observée n'est que de 8,32%, démontrant la fiabilité du modèle.

3.2. Analyse modale

Les caractéristiques d'auto-oscillation de la structure du filet d'étanchéité sont analysées à l'aide de Logiciel ANSYS. Étant donné que le modèle de la structure du filet d'étanchéité dans cette étude est vaste, L'analyse modale par blocs de Lanczos est utilisée [29]. Le tableau 7 présente les résultats de la première 10 fréquences et modes de vibration auto-oscillants obtenus sans application de forces externes et amortissement.

Tableau 7. Caractéristiques de la fréquence d'auto-oscillation et du modèle de vibration de la structure d'étanchéité.

Numéro de commande modale	f/Hz	Description du mode vibration
1	0,183	Torsion dans le plan du joint
2	0,274	Joints tordus hors du plan et pliés par vibration
3	0,557	Joints tordus hors du plan et pliés par vibration
4	0,559	Torsion dans le plan du joint
5	1,011	Joints tordus hors du plan et pliés par vibration
6	1,012	Torsion dans le plan du joint
7	1,456	Joints tordus hors du plan et pliés par vibration
8	1,459	Torsion dans le plan du joint
9	1,837	Joints tordus hors du plan et pliés par vibration
10	1,841	Torsion dans le plan du joint

Le tableau révèle que les dix ordres de fréquence initiaux présentent une augmentation plus rapide, avec une différence significative. Le filet d'étanchéité subit une torsion alternée dans les deux sens. directions dans le plan et hors plan lorsque la disparité de fréquence voisine est faible ; cependant, dans la direction hors du plan, il est sujet à une flexion induite par les vibrations. Ce phénomène se produit en raison de l'influence conjointe de la masse structurelle et de la rigidité sur le modèle modal. caractéristiques de la structure, l'effet de la masse étant relativement simple. La rigidité en traction de la structure d'étanchéité est principalement influencée par des facteurs tels que la tension des câbles porteurs, le rapport vecteur/portée de la surface du filet d'étanchéité et le rôle de l'entretoise isolante. Puisque la structure du filet d'étanchéité possède une grande flexibilité, sa rigidité repose principalement sur la tension, ce qui le rend très réactif aux variations des paramètres affectant la rigidité. Par conséquent, il est sensible à la flexion et à la torsion induites par les vibrations.

3.3. Méthode d'analyse dynamique de l'historique temporel par éléments finis structurels

Deux approches sont couramment utilisées pour analyser les réponses dynamiques induites par le vent dans les structures : la méthode du domaine fréquentiel et la méthode du domaine temporel. Le temps La méthode du domaine est particulièrement adaptée à l'étude de la réponse dynamique des éléments non linéaires. systèmes structurels. Par conséquent, dans cette étude, nous adoptons la méthode du domaine temporel pour calculer la réponse dynamique structurelle. Cette approche implique l'utilisation de vibrations spécifiques et modèles structurels et en considérant les caractéristiques de force de restitution des composants. Par la suite, les équations de mouvement sont intégrées progressivement pour obtenir la évolution de la solution numérique pour la réponse structurelle.

3.3.1. Analyse de l'historique temporel dynamique transitoire

L'équation différentielle du mouvement de la structure d'étanchéité sous la charge du vent est la suivante :

$$[M] \cdot \ddot{x}(t) + [C] \cdot \dot{x}(t) + [K]x(t) = \{F(t)\} \quad (8)$$

Dans la formule, [M] est la matrice de masse de la structure d'étanchéité ; [C] est l'amortissement matrice; [K] est la matrice de rigidité. $\ddot{x}(t)$ et $\dot{x}(t)$ sont l'accélération, la vitesse, et vecteurs de déplacement de la structure, respectivement ; et $\{F(t)\}$ est le vecteur de charge de vent auquel la structure est soumise.

Sur la base des caractéristiques spécifiques de la structure d'enceinte choisie dans cette étude, nous ont opté pour la méthode d'intégration implicite au sein de l'approche d'intégration directe pour la solution. Cette méthode élimine le besoin de transformation des coordonnées du mouvement

équations et effectue à la place une intégration numérique directement, étape par étape. Il discrétise le temps et calcule les variables de réponse au sein de chaque incrément de temps, permettant ainsi de déterminer la réponse structurelle grâce à une intégration incrémentale. Il existe plusieurs méthodes d'intégration implicites étape par étape notables, notamment la méthode Wilson, la méthode Newmark, la méthode Gurtin et la méthode d'accélération linéaire. Pour l'analyse de la réponse dynamique induite par le vent dans la structure de l'enceinte dans cette étude, nous avons utilisé la méthode Newmark- β . Cette méthode discrétise le temps en supposant les modèles de variation d'accélération dans les périodes $t + \Delta t$ de et x_t du mouvement structurel à un certain instant t et en effectuant des calculs intégraux pour obtenir les expressions de et $x_{t+\Delta t}$. En les incorporant dans l'équation différentielle de mouvement (8), $x_{t+\Delta t}$, $\dot{x}_{t+\Delta t}$, la solution de l'équation de mouvement au temps $t + \Delta t$ peut être obtenue.

La méthode Newmark- β représente l'équation d'équilibre du mouvement dans le temps $t + \Delta t$ comme suit :

$$[M] \ddot{x}_{t+\Delta t} + [C] \dot{x}_{t+\Delta t} + [K]x_{t+\Delta t} = \{F\}_{t+\Delta t} \quad (9)$$

En supposant que la vitesse et le déplacement de la structure au temps $t + \Delta t$ s'expriment comme suit :

$$\dot{x}_{t+\Delta t} = \gamma \dot{x}_t + (1 - \gamma) \dot{x}_{t+\Delta t} \quad (10)$$

$$x_{t+\Delta t} = x_t + 2\beta \dot{x}_t \Delta t + (1 - 2\beta) x_t + \beta \ddot{x}_t \Delta t^2 \quad (11)$$

D'après les équations (10) et (11), la vitesse et l'accélération au temps $t + \Delta t$ peuvent être représenté par le déplacement à ce moment-là comme suit :

$$\ddot{x}_{t+\Delta t} = \frac{x_{t+\Delta t} - x_t}{\beta \Delta t^2} - \frac{\dot{x}_t}{\beta \Delta t} - \frac{(1 - 2\beta) \ddot{x}_t}{\beta} \quad (12)$$

$$\dot{x}_{t+\Delta t} = \frac{\gamma x_{t+\Delta t} - (1 - \gamma) x_t}{\beta \Delta t} + (1 - \gamma) \dot{x}_t + \gamma \ddot{x}_t \Delta t \quad (13)$$

$$[K^*]x_{t+\Delta t} = \{F^*\}_t \quad (14)$$

$$[K^*] = \frac{1}{\beta \Delta t^2} [M] + \frac{\gamma}{\beta \Delta t} [C] + [K] \quad (15)$$

$$\{F^*\}_t = \{F\}_t + [M] \left(\frac{1}{\beta \Delta t} \ddot{x}_t + \frac{1}{2\beta} \ddot{x}_t + \left(\frac{1}{2\beta} - \gamma \right) \ddot{x}_t \right) + [C] \left(\gamma \dot{x}_t + (1 - \gamma) \dot{x}_{t+\Delta t} \right) + [K] x_t \quad (16)$$

2 Dans l'équation, les valeurs des paramètres de contrôle β et γ affectent la précision et la stabilité de l'ensemble de l'algorithme. Lorsque γ est pris égal à 1/2, l'algorithme a une précision du second ordre. À condition d'assurer la précision de l'algorithme, il est généralement pris comme $\gamma = 1/2$ et $\beta = 1/4$.

3.3.2. Définition de l'amortissement structurel

La performance de dissipation d'énergie des structures lors des processus vibratoires est un aspect crucial dans l'analyse des problèmes liés aux réponses dynamiques des structures. Actuellement, cette performance est communément évaluée à travers les caractéristiques d'amortissement de la structure. L'effet d'amortissement sur les structures se compose principalement de deux composants : l'amortissement structurel et l'amortissement visqueux. La valeur de l'amortissement structurel est influencée par des facteurs internes tels que le frottement et l'hystérésis au sein de la structure. D'autre part, l'amortissement visqueux résulte du frottement de l'air lors des vibrations structurelles et est directement proportionnel à la vitesse de vibration structurelle. Dans les applications d'ingénierie pratiques, l'amortissement visqueux est généralement pris en compte, et dans le logiciel d'éléments finis ANSYS, diverses formes d'amortissement

l'amortissement visqueux peut être défini. Le modèle d'amortissement de Rayleigh, largement utilisé, s'exprime par l'équation matricielle d'amortissement suivante :

$$[C] = \alpha[M] + \beta[K]$$

14 sur 34
(17)

Dans la formule, [C] est la matrice d'amortissement de Rayleigh, et α et β sont l'amortissement de masse coefficient et coefficient d'amortissement de rigidité, respectivement. Ces deux coefficients d'amortissement 2(peut être déterminé à l'aide des deux formules suivantes :

$$\alpha = \frac{2\omega_i\omega_j(\xi_i\omega_j - \xi_j\omega_i)}{\omega_j^2 - \omega_i^2} \quad (18)$$

Dans l'équation, les ω_i et ω_j représentent les fréquences naturelles des i et j

ordres de la structure, respectivement, tandis que ξ_i et ξ_j , respectivement, représentent le modal rapports d'amortissement des ordres i et j de la structure. Le rapport d'amortissement du câble

les structures peuvent généralement être considérées comme 0,02.

Dans l'équation, ω_i et ω_j représentent les fréquences naturelles des ordres i et j du structure, respectivement, tandis que ξ_i et ξ_j , respectivement, représentent les rapports d'amortissement modal de les ordres i et j de la structure. Le taux d'amortissement des structures de câbles peut généralement être pris comme 0,02.

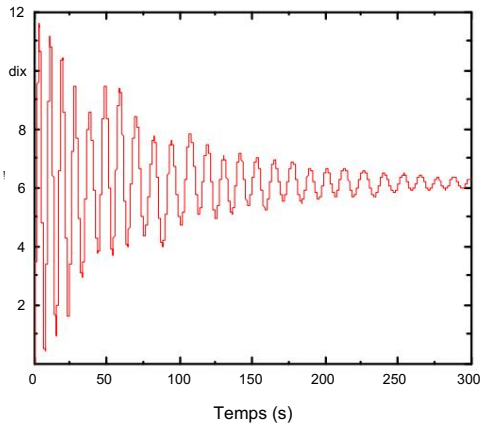
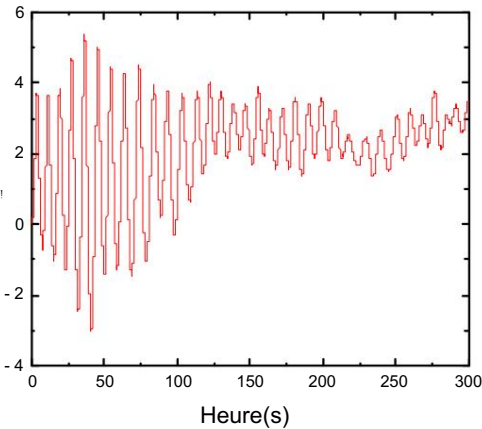
Selon différentes directions du vent, cette étude considère quatre angles de vent : 30 degrés, 45 degrés, 60 degrés, 80 degrés et 90 degrés (avec la direction négative de l'axe X comme 0 degré, rotation

3.4. Analyse de la réponse aux vibrations du vent du filet d'étanchéité lorsque l'angle du vent change

Étudier la réponse aux vibrations induites par le vent de la structure du filet d'étanchéité sous un différentes directions du vent, cette étude considère quatre angles de vent : 30 degrés, 45 degrés, 60 degrés et 90 degrés (avec la direction négative de l'axe X comme 0 degré, tournant

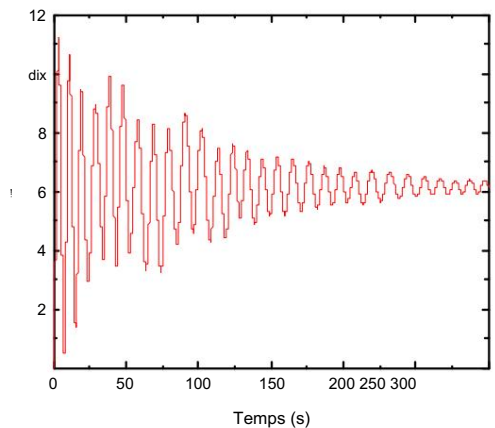
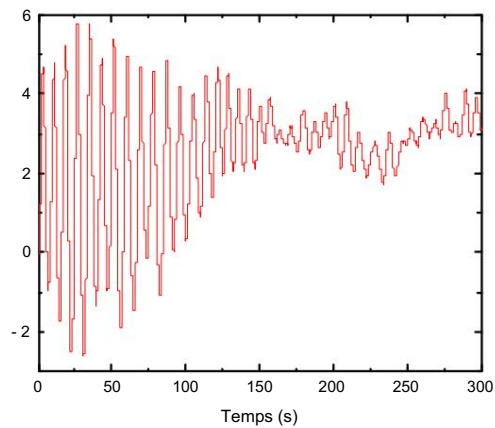
Une vitesse de vent de 10 m/s [30] est supposée pour l'installation du filet d'étanchéité. La distance entre les engrenages est réglé à 200 m. Une charge de vent pulsé simulée est appliquée au se dans le sens des aiguilles d'une montre) comme illustré à la figure 5. Le câble porteur est précontraint à 10 kN et un vent Point de chargement sélectionné sur la structure du filet d'étanchéité pour analyser sa réponse vibratoire à vent. Une vitesse de 10 m/s [30] est supposée pour l'installation du filet d'étanchéité. La distance entre

le rapport est réglé à 200 m. Une charge de vent pulsé simulée est appliquée à la charge sélectionnée Les deux extrémités de la structure du filet d'étanchéité sont fixes et lorsque la charge du vent agit point sur la structure du filet d'étanchéité pour analyser sa réponse vibratoire au vent. horizontalement, elle peut être simplifiée comme une force uniforme. Compte tenu des contraintes du Les deux extrémités de la structure du filet d'étanchéité sont fixes et lorsque la charge du vent agit structure du filet d'étanchéité et répartition de la force, déplacement à mi-portée de l'étanchéité horizontalement, elle peut être simplifiée comme une force uniforme. Compte tenu des contraintes du la structure porteuse connue pour être la plus grande. Pour fournir une représentation plus visuelle de la structure du filet d'étanchéité et répartition de la force, déplacement à mi-portée de l'étanchéité tendances de déplacement du filet d'étanchéité et contraintes à l'extrémité des câbles porteurs, en la structure nette est connue pour être la plus grande. Pour fournir une représentation plus visuelle de tendances de déplacement du filet d'étanchéité et contraintes à l'extrémité des câbles porteurs, en les déplacements de la structure du filet d'étanchéité sous différents angles de vent, diagrammes chronologiques des déplacements de la structure du filet d'étanchéité sous différents angles de vent sont présentés comme le montre la figure 6. Le déplacement de la structure du filet d'étanchéité sous différents angles de vent sont présentés comme le montre la figure 6. Dans les diagrammes chronologiques des contraintes aux extrémités des câbles porteurs sont présentés. dans la figure 7.

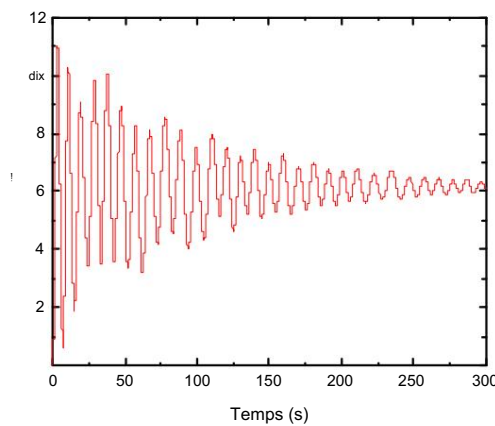
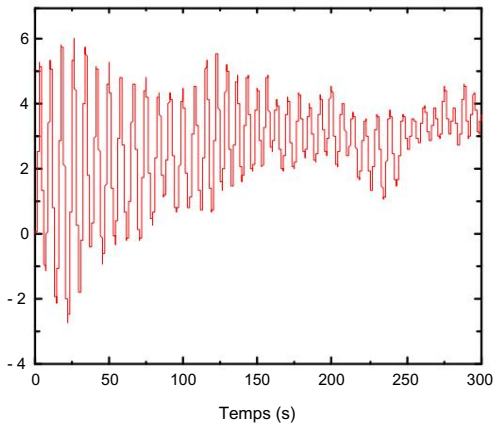


(a) Angle du vent de 30 degrés

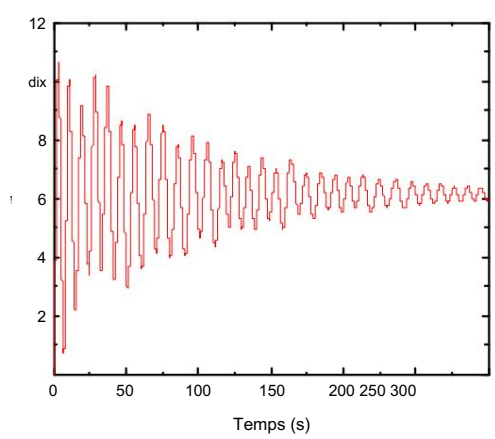
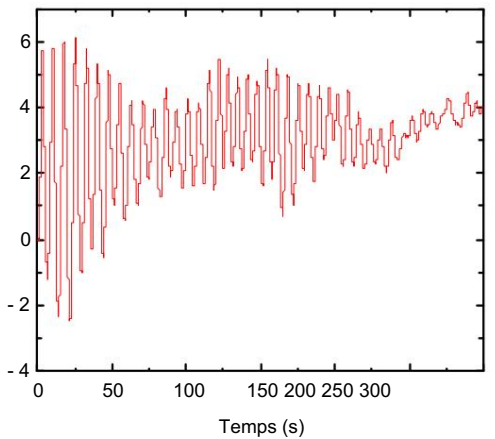
Figure 6. Suite.



(b) Angle du vent de 45 degrés



(c) Angle du vent de 60 degrés



(d) Angle du vent de 90 degrés

Figure 6. Historique temporel des déplacements de travée à travée sous différentes directions de vent pour le phoque.
structure nette.
structure nette.

Selon la figure 6, lorsque la vitesse de base du vent est de 10 m/s et la portée est de 200 m, le déplacement induit par le vent de la structure d'étanchéité diminue à la fois dans le sens horizontal et les directions verticales. Plus précisément, l'amplitude de fluctuation du filet d'étanchéité dans le la direction horizontale diminue progressivement, présentant finalement des vibrations aléatoires à l'intérieur

une certaine gamme. En revanche, l'amplitude de fluctuation dans le sens vertical tend converger vers une valeur spécifique. Ceci est une conséquence de l'interaction entre les structures vibrations, friction de l'air et viscosité du matériau, qui dissipent progressivement l'énergie et réduisent l'amplitude des oscillations. La figure 7 montre que la contrainte maximale à la fin du Le câble porteur se produit pendant la phase de chargement initiale. À mesure que le temps de chargement augmente, le le stress se stabilise progressivement. En effet, pendant la phase de chargement initiale, le roulement Le câble subit une force externe importante, conduisant à la valeur de contrainte la plus élevée. Au fil du temps, le câble s'adapte progressivement à cette charge externe et subit une déformation élastique, provoquant le stress à diminuer. Une fois que le câble s'est adapté à la charge externe et a atteint une position stable Dans cet état, la contrainte ne subit plus de modifications significatives et la courbe tend à se stabiliser.

En analysant la réponse aux contraintes à l'extrémité du câble porteur sous différentes prétensions, on peut en déduire qu'une prétension plus élevée appliquée au câble porteur entraîne une contrainte plus importante à la fin.

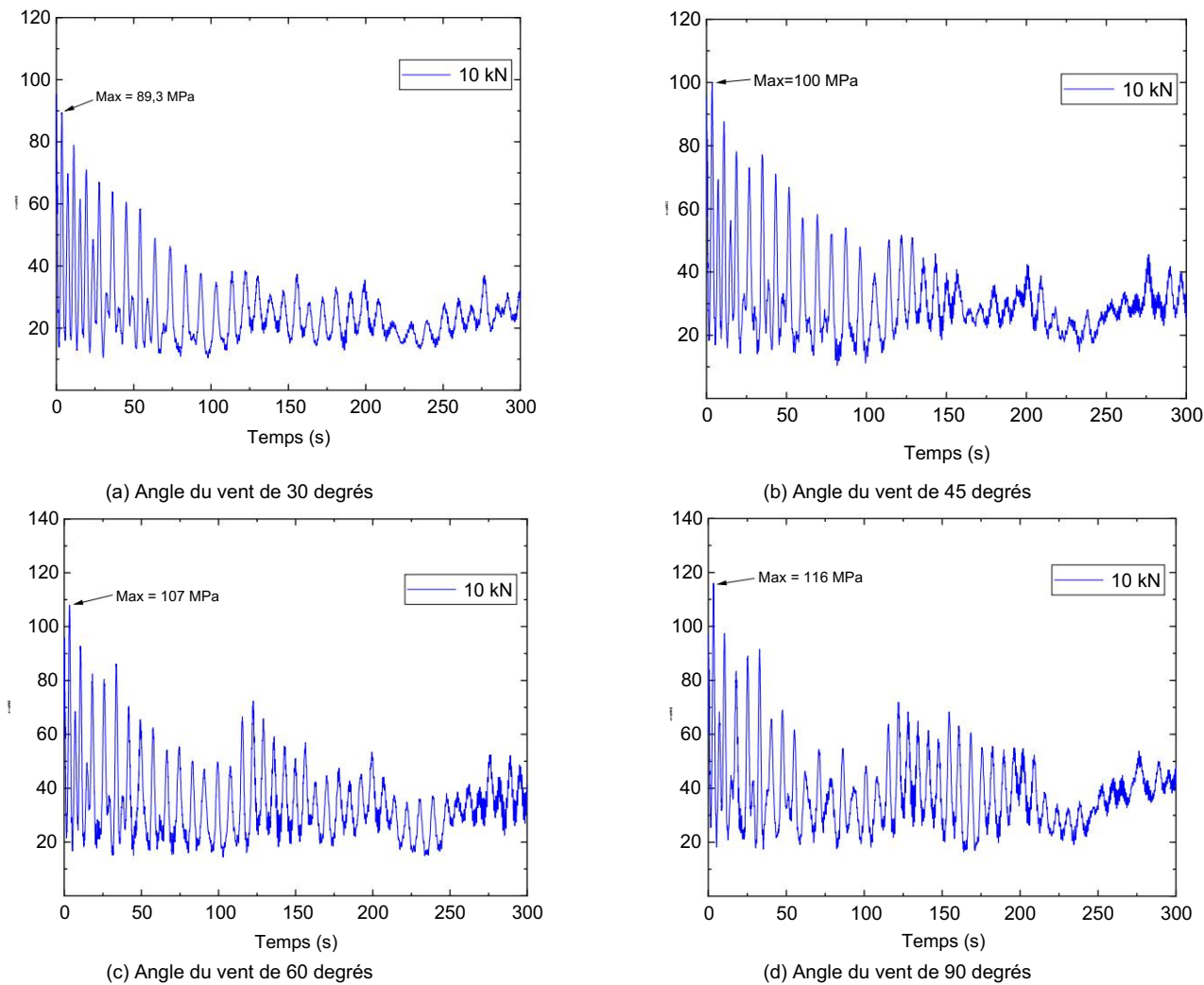


Figure 7. Historique temporel des contraintes à l'extrémité du filot d'étanchéité sous différentes directions de vent.

Selon la figure 6. Jusqu'à la vitesse de base du vent est de 10 m/s et la portée est de 200 m, la déformation la plus élevée de la structure sous différents angles de vent, les courbes horizontales ont été organisées, comme le montre la figure 8. De même, la figure 9 illustre la relation entre la contrainte et la prétension à l'extrémité de la structure du filot d'étanchéité sous différents angles de vent. La réaction a tendance à converger vers une valeur spécifique. C'est une conséquence de l'interaction entre entre les vibrations structurales, le frottement de l'air et la viscosité du matériau, qui se dissipent progressivement l'énergie et réduit l'amplitude des oscillations. La figure 7 montre que le maximum la contrainte à l'extrémité du câble porteur se produit pendant la phase de chargement initiale. Comme la charge le temps de travail augmente, le stress se stabilise progressivement. En effet, lors du chargement initial phase de fonctionnement, le câble porteur subit une force externe importante, ce qui entraîne une pression élevée. valeur de contrainte la plus élevée. Au fil du temps, le câble s'adapte progressivement à cette charge externe et

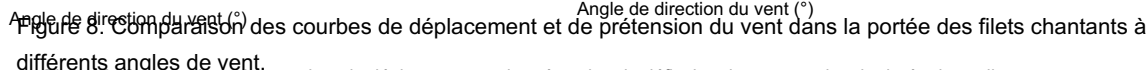
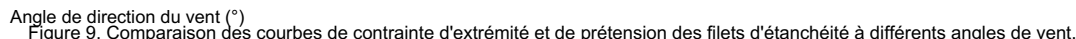


Figure 8. Comparaison des courbes de déplacement et de pretension du vent dans l'étendue des filets à différents angles de vent.

[illegible]

3.5. Analyse de la réponse aux vibrations du vent du treillis d'étanchéité lorsque le pas des engrenages change

Selon les données fournies, la sélection de la distance de portée du filet d'étanchéité varie pour

différentes lignes de transmission. Dans la construction réelle, la distance de travée choisie pour le

le filet de scellement varie généralement de 100 à 300 m ou moins [31]. Par conséquent, la distance de portée

considérée dans l'analyse varie de 100 à 300 m avec un incrément de 50 m. Un vent

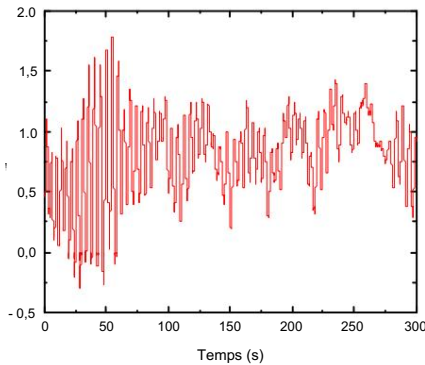
dans l'analyse varie de 100 à 300 m, avec un incrément de 50 m. Une vitesse du vent de 10 m/s est sélectionnée, ainsi qu'un angle de vent de 90 degrés comme étant la plus défavorable condition la plus défavorable et une tension de câble de 10 kN pour analyser la répercussion des vibrations induites par le vent. Le

réponse. Le déplacement dans le temps dans l'étendue de la structure de filet d'étanchéité correspondante

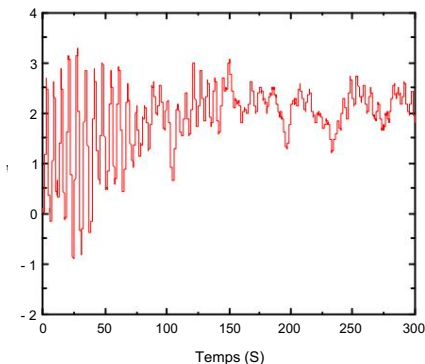
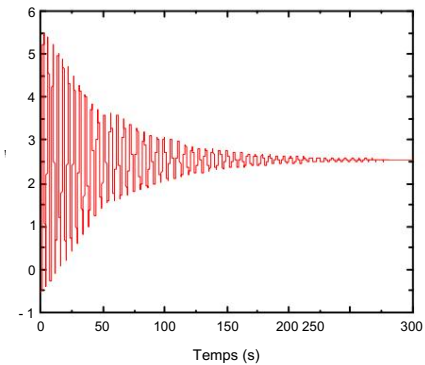
ture est présentée à la figure 10, tandis que la contrainte dans le temps aux extrémités de la structure porteuse

sur la figure 10, tandis que la contrainte dans le temps aux extrémités des câbles porteurs est affichée

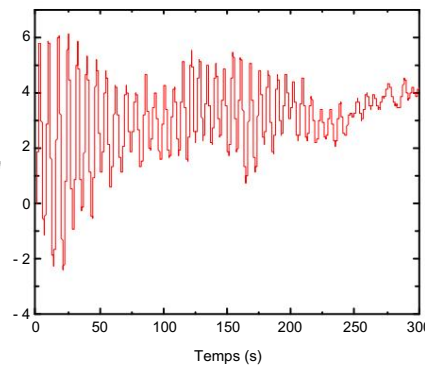
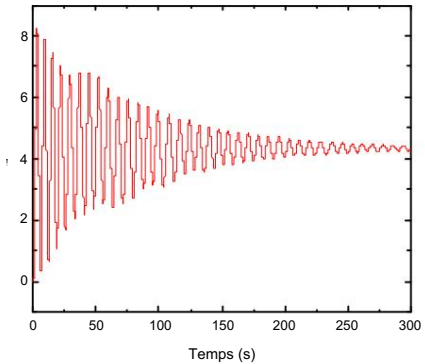
dans la figure 11.



(a) Distance des engrenages 100 m



(b) Distance des engrenages 150 m



(c) Distance des engrenages 200 m

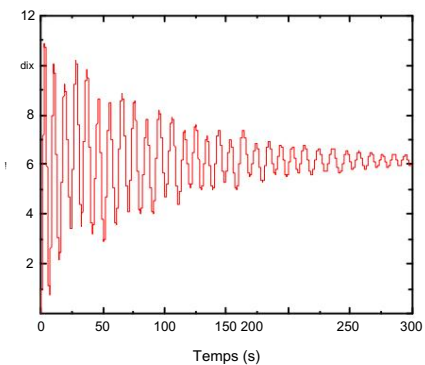


Figure 10. Suite.

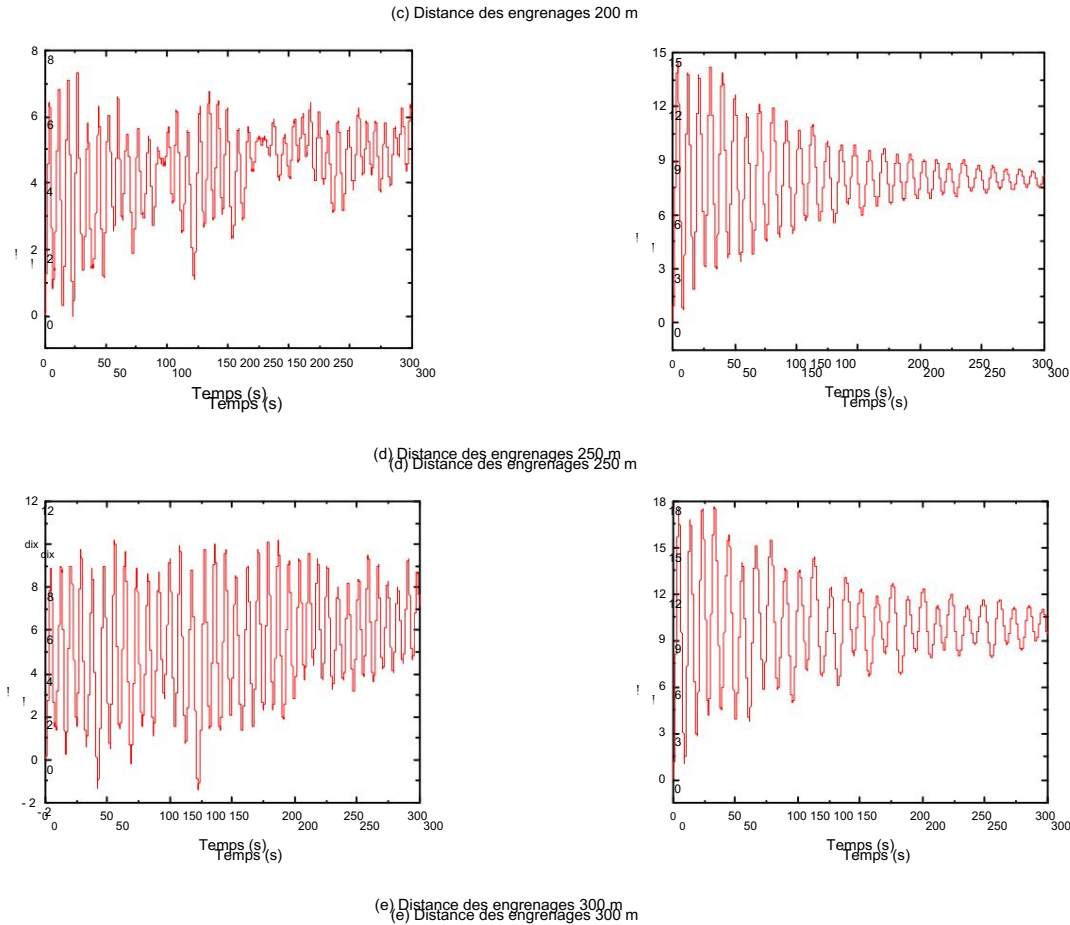


Figure 10. Historique temporel des déplacements à différents espacements des engrenages du filet d'étanchéité.

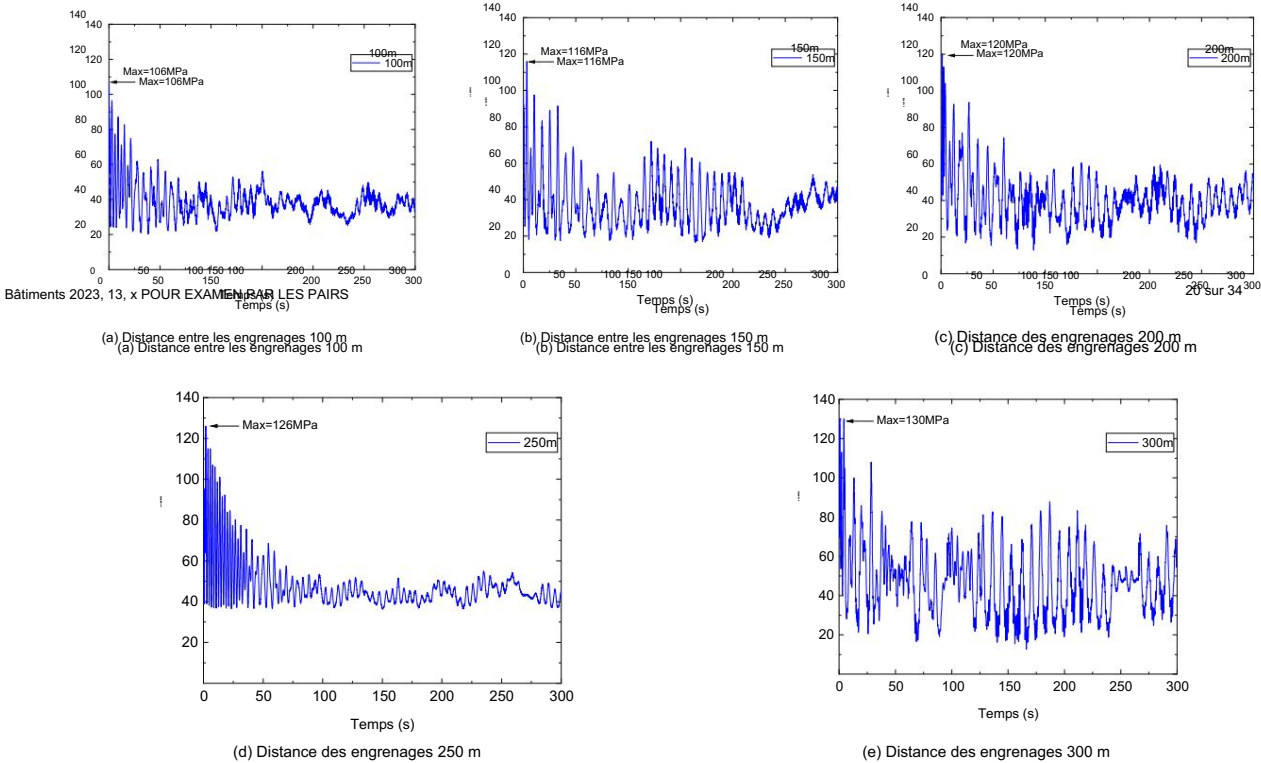


Figure 11. Historique temporel des contraintes à l'extrémité des câbles porteurs avec différents espacements d'engrenages.

Sur la base de l'analyse des figures 10 et 11, on peut observer que lorsque le pré la vitesse du vent dominant est de 10 m/s et l'angle de direction du vent est de 90 degrés, l'horizontale L'oscillation du filet d'étanchéité diminue en amplitude et atteint finalement une valeur constante. Dans le sens vertical, l'oscillation tend vers une valeur spécifique. Le maxi La contrainte maximale à l'extrémité du câble en treillis d'étanchéité se produit dans un intervalle de 5 s avant le application d'une charge de vent fluctuante sur la structure. De plus, avec le passage de

Figure 11. Historique temporel des contraintes à l'extrémité des câbles porteurs avec différents espacements d'engrenages.

Bâtiments 2023, 13, 2947

19 sur 33

Sur la base de l'analyse des figures 10 et 11, on peut observer que lorsque la vitesse du vent dominant est de 10 m/s et que l'angle de direction du vent est de 90 degrés, l'h

l'oscillation du filet d'étanchéité diminue en amplitude et finit par atteindre. Sur la base de l'analyse des figures 10 et 11, on peut observer que lorsque l'oscillation dominante

direction du vent est de 90, des oscillations dans une direction spécifique. La vitesse du vent est de 10 m/s et l'angle

du filet de scellement diminue en amplitude et atteint finalement une plage stable. Dans la

direction verticale, l'oscillation tend vers une valeur spécifique. La contrainte maximale à

application d'une charge de vent fluctuante sur la structure. De plus, avec le pa, la fin du câble en treillis d'étanchéité

se produit dans un intervalle de 5 s avant l'application d'un

charge de vent fluctuante sur la structure. De plus, au fil du temps, la valeur de contrainte

définie. Suite à l'organisation des données calculées, la figure 12 présente la stabilisation progressive dans une plage

de temps calculées, la figure 12 présente la

de déplacement de la structure d'étanchéité pour différentes portées. De plus, le tableau 8

fournit des informations sur les contraintes à l'extrémité de la structure d'étanchéité associées à

des portées variables.

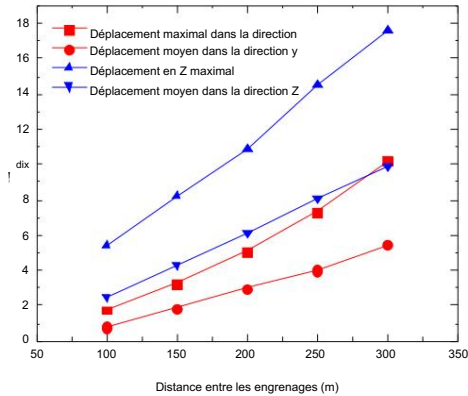


Figure 12. Modifications du déplacement de la structure d'étanchéité avec différents espacements d'engrenages.

Tableau 8. Contrainte à l'extrémité du filet d'étanchéité avec différentes portées.

Tableau 8. Contrainte à l'extrémité du filet d'étanchéité avec différentes portées.					
Espace ment des jauges (m)		Contrainte maximale (MPa)		Valeur moyenne de contrainte (MPa)	
100		106,3		38,0	
Espace ment des jauges (m)		Contrainte maximale (MPa)		Valeur moyenne de la contrainte	
150		116,0		38,5	
200	100	119,8	106,3	40,5	38,0
250	150	125,7	116,0	46,9	38,5
300		129,6		47,2	
200			119,8		40,5
250			125,7	46,9	
300			129,6	47,2	

La figure 12 illustre les déplacements importants du vent dans le sens horizontal et vertical directions du filet d'étanchéité. L'ampleur de ces déplacements augmente avec l'augmentation

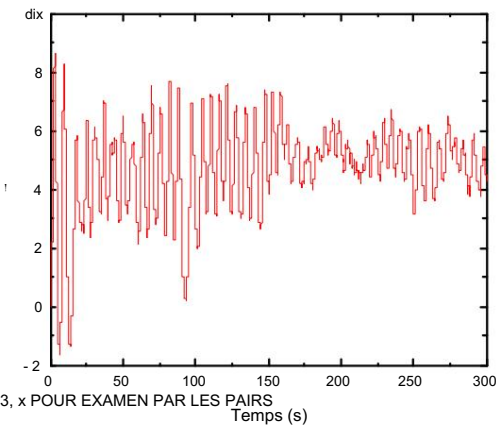
La figure 12 illustre les déplacements importants du vent dans le sens horizontal et vertical. directions du filet d'étanchéité. L'ampleur de ces déplacements augmente avec l'augmentation l'espacement des stalles, indiquant une influence significative des changements d'espacement des stalles sur le filet d'étanchéité déplacement du vent. Les déplacements verticaux varient de 100 m à 300 m de pas. Avec un 50 m La figure 12 illustre les déplacements substantiels du vent dans l'augmentation horizontale du pas, le déplacement maximal d'une travée à l'autre du filet d'étanchéité augmente de directions du filet d'étanchéité. Les magnitudes de ces déplacements augmentent de 2,108 m horizontalement et de 3,030 m verticalement. Ce constat met en évidence l'impact considérable des changements de pas sur la structure du filet d'étanchéité dans la direction verticale. un espacement de décrochage plus grand, indiquant une influence significative du changement d'espacement de décrochage déplacement du vent. Les déplacements verticaux varient de 100 m à 300 m de pas. Avec un 50 m de pas, le déplacement maximal de travée à travée entraîne une plus grande masse globale de la structure d'étanchéité. Simultanément, la charge du vent sur la structure d'étanchéité génère une force combinée accrue, conduisant à des contraintes plus élevées à l'extrémité du câble porteur. Pour une distance de 300 m, la contrainte maximale atteint environ 129,6 MPa, avec un coefficient de sécurité de 9,67, indiquant que la contrainte reste dans une plage de sécurité.

Par conséquent, le déplacement du vent et les contraintes dans chaque direction ascendante du joint d'étanchéité la structure nette augmente avec des distances d'engrenage plus grandes. Lors de la construction de lignes aériennes, il est recommandé de choisir des distances d'engrenage plus petites pour sceller le filet afin minimiser le déplacement du vent et les contraintes sur la structure du filet d'étanchéité, garantissant ainsi la sécurité.

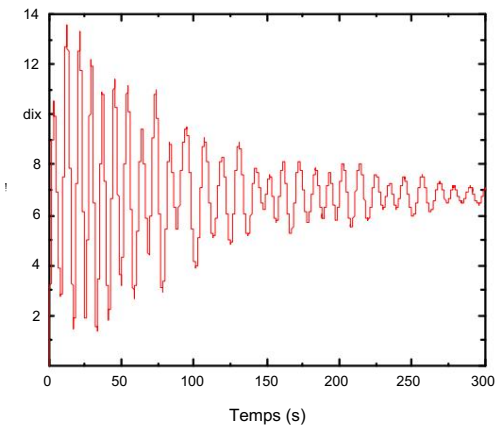
Par conséquent, l'espacement entraîne une contrainte dans chaque direction, ce qui affecte le déplacement du vent. La structure du filet de mer augmente avec les distances d'engrenage plus grandes. Lors de la construction de lignes aériennes, il est recommandé de choisir des distances d'engrenage plus petites pour sceller le filet afin de minimiser le déplacement du vent et les contraintes sur la structure du filet d'étanchéité, garantissant ainsi la sécurité.

3.6. Analyse de la réponse aux vibrations du vent du filet d'étanchéité lorsque la tension du câble porteur et la vitesse du vent changent

la tension des câbles porteurs se fait en fonction de la vitesse du vent. La vitesse du vent changeant du filet d'étanchéité. En augmentant la prétension des câbles porteurs, la distension du vent peut être efficacement réduite. Lors du placement du filet d'étanchéité, il est recommandé de choisir des câbles porteurs avec une tension plus élevée. Lors de la construction de la structure de couverture, les câbles porteurs sont également soumis à une tension plus élevée lorsqu'ils sont soumis à des charges de vent, ce qui peut entraîner un coefficient de sécurité inférieur. Dans cette étude, il est prévu que les charges engendrées par le vent peuvent être rencontrées. Compte tenu des circonstances réelles, quatre niveaux de prétension ont été sélectionnés pour les câbles porteurs : 6 kN, 8 kN, 10 kN et 12 kN. Ces valeurs de prétension ont été choisies pour garantir une utilisation sûre des câbles porteurs. Pour étudier les vibrations du vent à différentes vitesses de vent, des simulations ont été réalisées pour cinq vitesses de vent différentes : 6 m/s, 8 m/s, 10 m/s, 12 m/s et 14 m/s. La distance de décrochage était fixée à 200 m et la direction du vent à 90 degrés a été utilisée pour le calcul et l'analyse des vibrations du vent. En raison du grand nombre de conditions de travail, seule la courbe de déplacement à mi-portée est extraite lorsque la vitesse du vent est de 14 m/s, ce qui est une relation relative. En raison du grand nombre de conditions de travail, seule la courbe de déplacement à l'extrémité du câble porteur est extraite lorsque la vitesse du vent est de 14 m/s. La figure 14 illustre les conditions de travail des câbles porteurs à la figure 14 du facteur d'étanchéité de la figure 14.

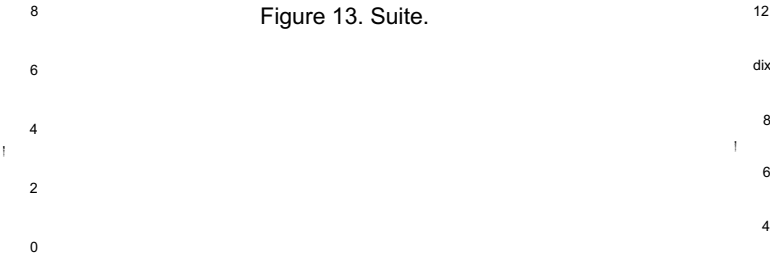


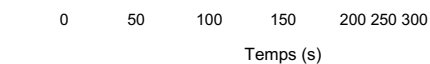
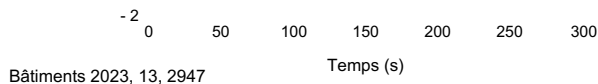
(a) Prétension des câbles porteurs à 6 kN



(b) Prétension des câbles porteurs à 8 kN

Figure 13. Suite.

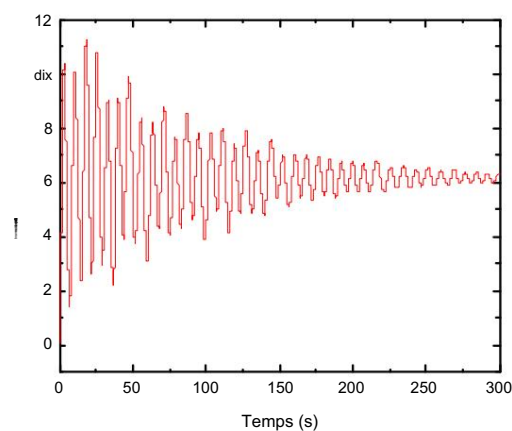
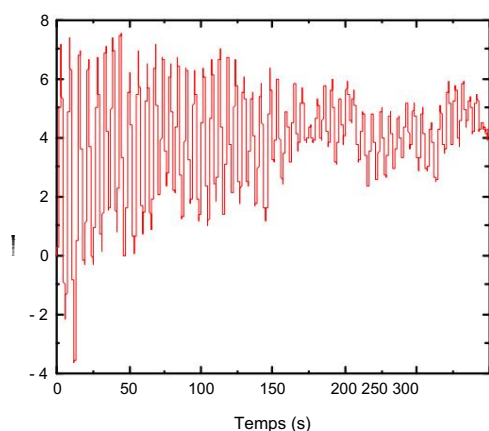




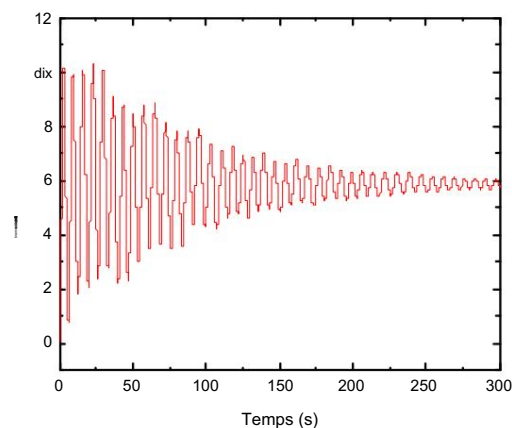
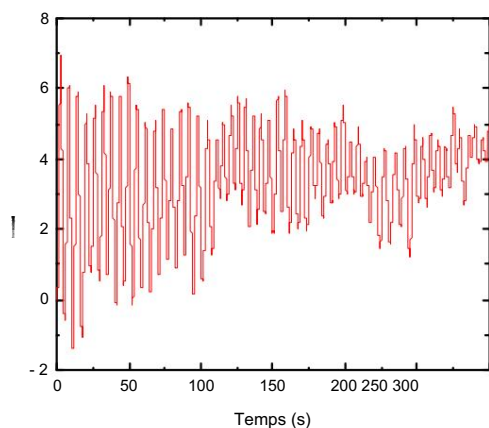
Bâtiments 2023, 13, 2947

21 sur 33

(b) Prétension des câbles porteurs à 8 kN



(c) Prétension des câbles porteurs à 10 kN

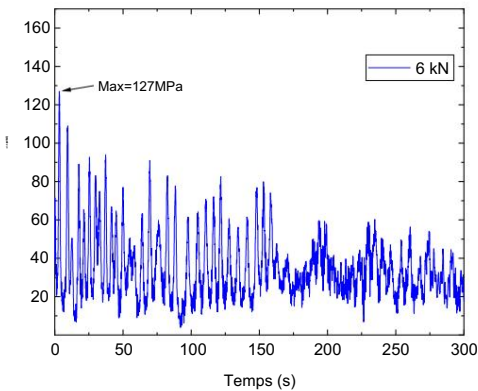


(d) Prétension des câbles porteurs à 12 kN

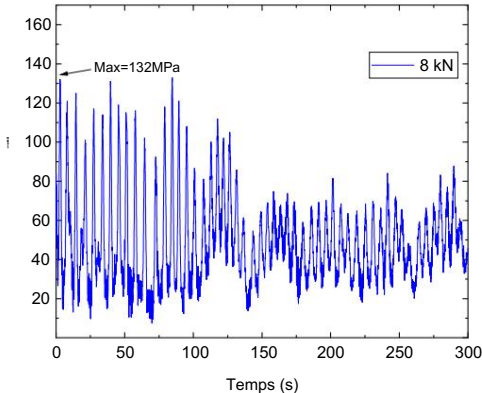
Figure 13. Historique temporel des déplacements à mi-portée des câbles porteurs sous différentes prétensions à un angle de vent de 90 degrés.

Sur la base de l'analyse des figures 13 et 14, on peut observer que l'amplitude de fluctuation horizontale du filet d'étanchéité diminue progressivement et finit par vibrer de manière aléatoire dans une plage spécifique lorsqu'il est soumis à un angle de vent de 90 degrés à une distance de décrochage de 200 m. L'amplitude de fluctuation verticale tend à se stabiliser à une certaine valeur. Le stress maximum à l'extrémité du câble porteur se produit pendant la phase de chargement initiale et lorsque le temps de chargement augmente, la contrainte se stabilise progressivement. Analyser la réponse au stress au extrémité du câble porteur pour différentes prétensions, on peut en déduire qu'une prétension plus élevée entraîne une contrainte plus importante à l'extrémité du câble. Plus précisément, lorsqu'une prétension de 12 kN est appliquée au câble porteur, la contrainte maximale est d'environ 161 MPa, ce qui donne une sécurité facteur de 7,8. Par conséquent, la contrainte dans le câble porteur reste dans une plage sûre.

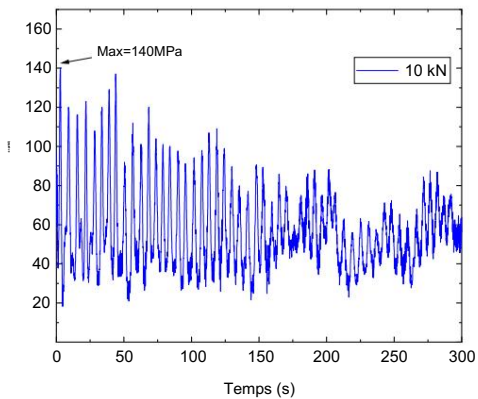
Compte tenu des données calculées, les courbes de relation entre la déviation du vent le déplacement et les courbes de prétension à mi-portée du filet d'étanchéité sont obtenus, comme illustré à la figure 15. La contrainte à l'extrémité de la structure d'étanchéité est illustrée à la figure 16.



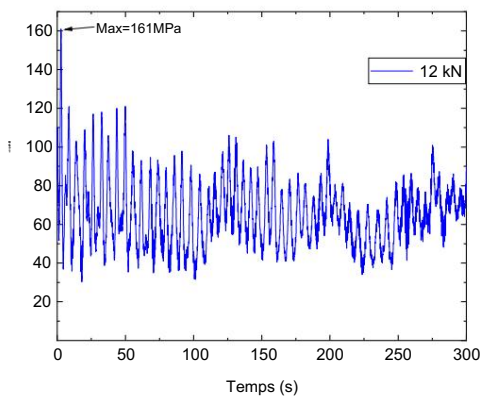
(a) Prétension des câbles porteurs à 6 kN



(b) Prétension des câbles porteurs à 8 kN



(c) Prétension des câbles porteurs à 10 kN



(d) Prétension des câbles porteurs à 12 kN

24 sur 34

Figure 14. Historique temporel des contraintes à l'extrémité du câble porteur sous différentes prétensions à un moment donné, angle du vent de 90 degrés.

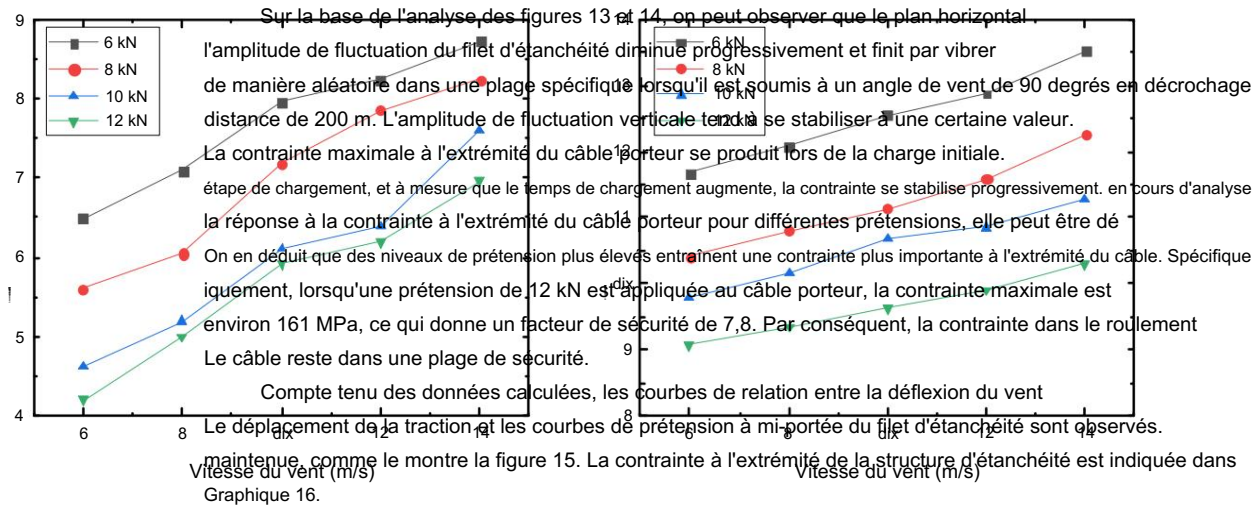
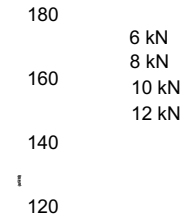


Figure 15. Comparaison des courbes de déplacement et de prétension de la déviation du vent dans la portée du filet d'étanchéité avec différents angles de vent et tensions de câble supportant.



câble sur la déviation au vent de ce type de structure. Les résultats de cette étude fourniront des informations théoriques précieuses pour contrôler efficacement la déviation du vent dans de tels structures.

réponse du filet d'étanchéité en considérant l'angle entre le câble et le sol comme variable.

Une analyse comparative est menée à différentes vitesses de vent et angles de direction du

4.1. Paramètres de base et disposition du câble de contrôle de la déviation du vent

4.1. Paramètres de base et disposition du câble de contrôle de la déviation du vent

le déplacement de la déflexion du vent dans le filet d'étanchéité peut être inhibé en réduisant le pas du filet d'étanchéité. Il existe de nombreuses méthodes pour inhiber le déplacement de la déflexion du vent à travers un filet d'étanchéité en augmentant la prétension du filet d'étanchéité. Cables porteurs. Cependant, l'effet d'inhibition est exot. De l'étude précédente, on peut conclure que le déplacement de la déviation du vent est très limité et ne satisfait pas aux exigences de sécurité de la construction actuelle. dans le filet d'étanchéité peut être inhibée en réduisant le pas du filet d'étanchéité et en augmentant la déflexion du vent du filet d'étanchéité peut être efficacement supprimée en attachant une tension à la prétension des câbles porteurs. Cependant, l'effet d'inhibition est extrêmement limité. câbles de tension sont placés à la hauteur et ne satisfait pas aux exigences de sécurité de la construction actuelle. 12. Les cordes de vent aux quatre coins du filet isolé, comme le montrent les figures 17 et 18. Les cordes câbles de tension sont fixés aux quatre coins du filet isolé, comme le montrent les figures 17 et 18. Les cordes câbles de tension sont fixés aux quatre coins du filet isolé, comme le montrent les figures 17

câbles de tension sont fixés aux quatre coins du filet isolé, comme le montrent les figures 17

d'attache sont reliées au roulement à l'autre extrémité. câbles à une extrémité et ancrés au sol par des

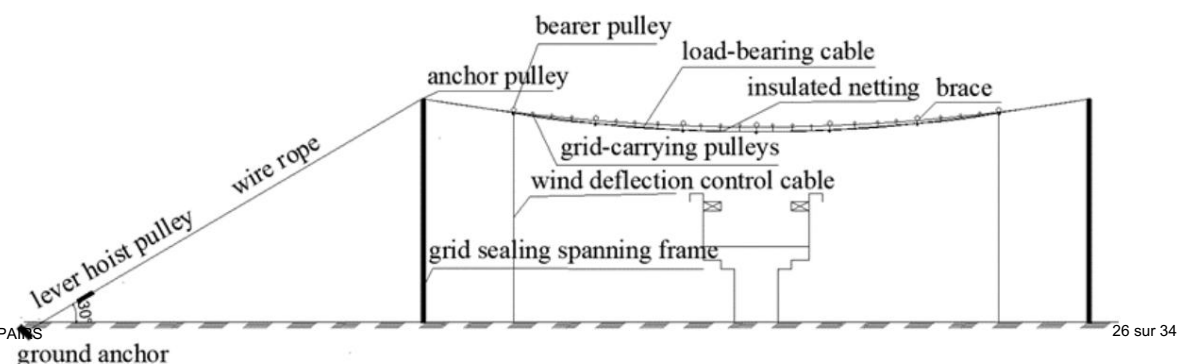


Figure 17. Vue de face de la structure du filet d'attache et de son contrôle de la déflexion du vent.

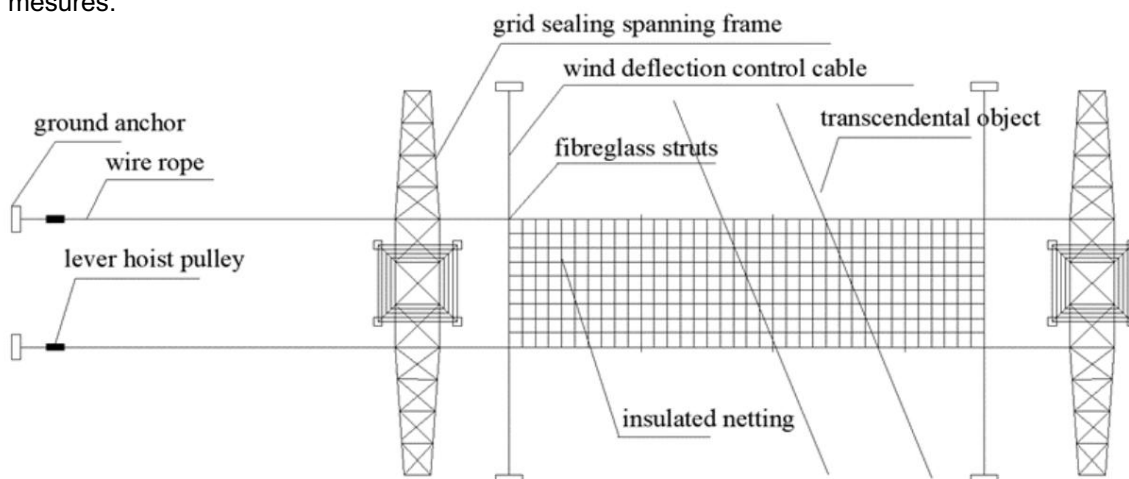


Figure 18. Vue de dessus de la structure du fillet d'attache et de son contrôle de la déflexion du vent.

4.2. Comparaison de l'analyse modale des grilles d'étanchéité avec des liens supplémentaires de contrôle de la polarisation du vent

Dans cette étude, les caractéristiques dynamiques de la structure supplémentaire de fermeture du câble étaient de 4,2. Comparaison de l'analyse modale des grilles d'étanchéité avec des attaches supplémentaires de contrôle de la polarisation du vent analysées à l'aide du logiciel ANSYS. L'objectif était de déterminer la fréquence intrinsèque. Dans cette étude, les caractéristiques dynamiques de la structure avec la fermeture de câble supplémentaire ont été analysées à l'aide du logiciel ANSYS. Cette analyse sert de base à l'analyse dynamique ultérieure. On étudie la vibration de la structure et de les comparer avec la structure de fermeture sans câbles. Cette analyse sert de base à l'analyse dynamique ultérieure.

4.2.1. Modélisation par éléments finis du treillis d'étanchéité

Le modèle est à une hauteur de 30 m avec une distance de décrochage de 200 m. Sur la base du

Dans cette étude, les caractéristiques dynamiques de la structure supplémentaire de fermeture de câble ont été analysés à l'aide du logiciel ANSYS. Le but était de déterminer la fréquence intrinsèque et le modèle de vibration de la structure et comparez-le avec la structure de fermeture sans câbles. Cette analyse sert de base à l'analyse dynamique ultérieure.

4.2.2.1. Modélisation par éléments finis du treillis d'étanchéité

Le modèle se trouve à une hauteur de 30 m avec une distance de décollage de 200 m. Sur la base du modèle par éléments finis sans câbles de tension supplémentaires, les câbles de tension sont fixés aux quatre coins du fil et il y a une corde cordeuse fixée à une extrémité à chaque coin et l'autre extrémité ancrée au sol par des ancrages au sol. Les cordes d'attache sont créées en choisissant le matériau isolant, la corde Dywida, comme indiqué dans la section précédente. Le modèle a un total de 2221 nœuds et 3816 unités et le modèle d'éléments finis est illustré à la figure 19.

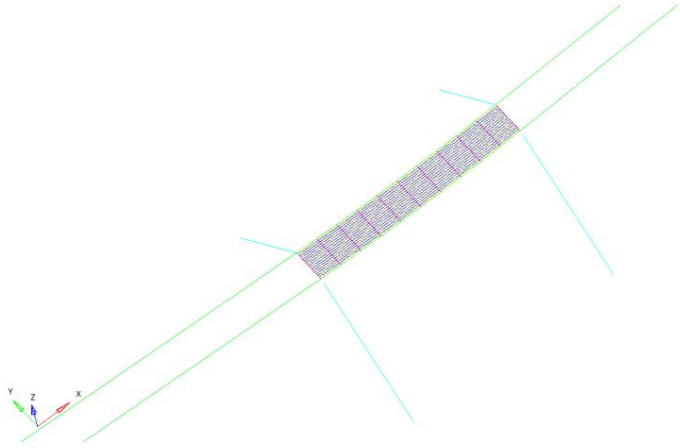


Figure 19. Modélisation par éléments finis de grilles de joints d'étanchéité supplémentaires.

4.2.2.2. Analyse modale et comparaison

Les caractéristiques d'auto-oscillation du fil d'étanchéité engendrant la relaxation d'un câble de tension à la structure du fil d'étanchéité. Le logiciel éléments finis ANSYS permet de analyser les caractéristiques d'auto-oscillation de la structure du fil d'étanchéité avec des câbles supplémentaires pour saisir sa fréquence d'auto-oscillation et son modèle de vibration. Le tableau 9 montre une comparaison de la fréquence de vibration entre toute la structure d'étanchéité du fil avec des câbles supplémentaires et la structure d'étanchéité en fil sans câbles supplémentaires. Le modèle de vibration de la partie du La structure d'étanchéité en fil après l'installation du câble supplémentaire est illustrée à la Figure 20.

Tableau 9. Comparaison de la fréquence d'auto-résonance entre l'ensemble de la structure avec et sans fermeture de câble supplémentaire.

Numéro de mode	Auto-oscillation globale	Fréquence auto-oscillante de la Structure sans	Différence relative (%) ((une) – (b))/(b)
	Fréquence des suppléments Structure de fermeture de câble (Hz) (a)	Étanchéité supplémentaire du câble Réseau (Hz) (b)	
1	0,193	0,183	5.5
2	0,298	0,274	8.9
3	0,569	0,557	2.2
4	0,583	0,559	4.3
5	1.029	1.011	1.8
6	1.044	1.012	3.1

L'analyse de la structure du fil d'étanchéité avec des attaches supplémentaires révèle que la structure présente des caractéristiques dynamiques à basse fréquence et à forte intensité de mode lorsque l'on considère le 50 premiers modes. La vibration des attaches est principalement influencée par la vibration du structure de fermeture dans la gamme des basses fréquences. Les premier à huitième modes correspondent au câble vibrations, tandis que les neuvième, dixième, vingt-septième et vingt-huitième modes représentent les modes de vibration globaux de la structure de fermeture avec le câble attaché. Plus précisément, le

	température (Hz) (a)	Réseau d'étanchéité (Hz) (b)	(a) - (b)/(b)	(%)
1	0,193	0,183	5.5	
2	0,298	0,274	8.9	
3	0,569	0,557	2.2	
4	0,583	0,559	4.3	
5	1.029	1.011	1.8	
6				

les neuvième, dixième et vingt-septième modes correspondent aux vibrations de flexion longitudinale, modes correspondant à des vibrations de flexion transversale.

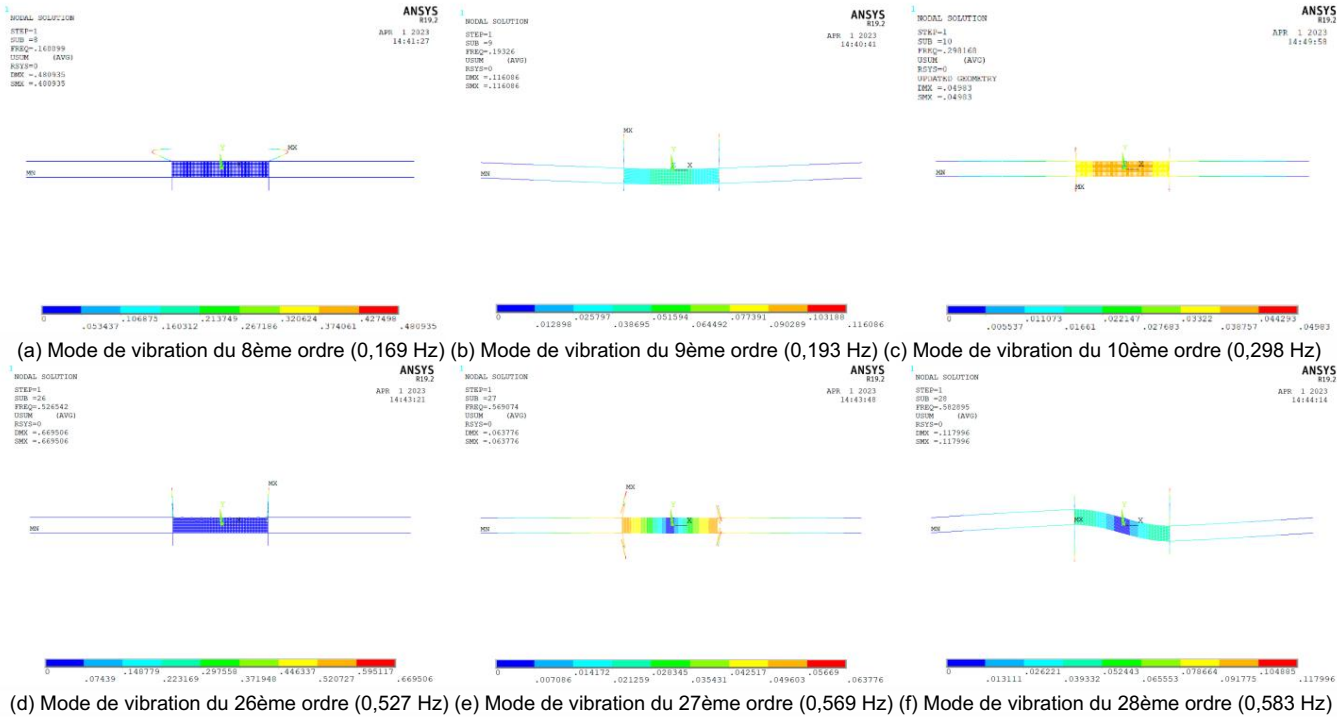
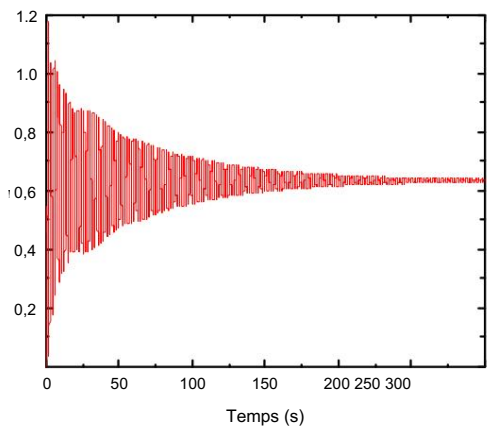
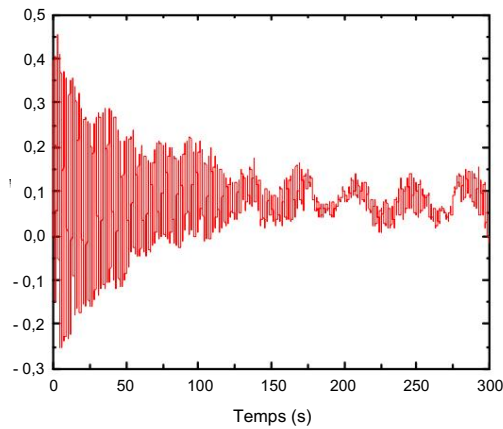


Figure 20. Modèle de vibration partielle de la structure du filet d'étanchéité après la tension supplémentaire Figure 20. Modèle de vibration partielle de la structure du filet d'étanchéité après la tension supplémentaire câble. (Remarque : La valeur par défaut des nombres avant le point décimal est 0 dans la figure 20.).

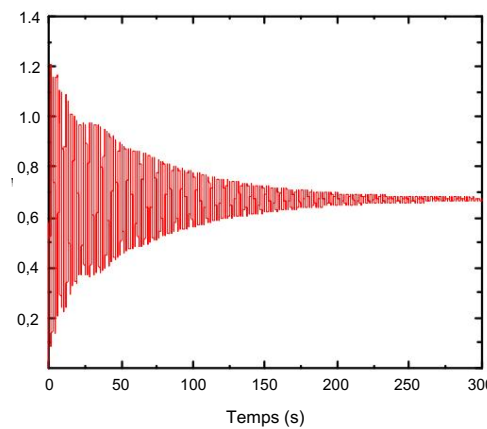
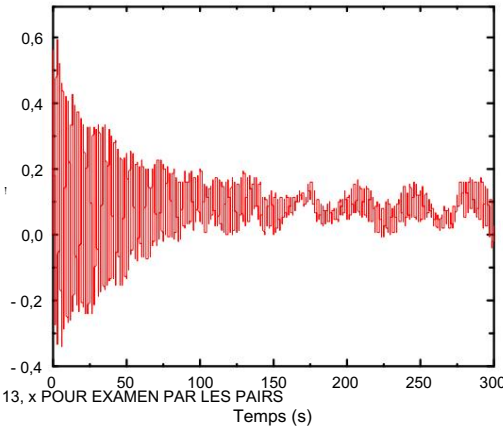
L'analyse de la structure du filet d'étanchéité avec des attaches supplémentaires révèle que la structure est comparée à la fréquence d'auto-oscillation de la fermeture de câble supplémentaire. La structure présente des caractéristiques dynamiques à basse fréquence et à forte intensité de mode lorsqu'elle est considérée avec celle de la structure de fermeture de câble non fixée, une différence notable allant jusqu'à 8,9%. Cela indique que la matrice de masse et la matrice de rigidité du modèle pour la structure de fermeture dans la gamme des basses fréquences. Les premier à huitième modes correspondent à la structure supplémentaire de fermeture de câble qui a subi des modifications, entraînant une augmentation aux vibrations du câble, tandis que les neuvième, dixième, vingt-septième et vingt-huitième modes de fréquence d'auto-oscillation. Par conséquent, le câble supplémentaire de commande de polarisation du vent présente un représentant les modes de vibration globaux de la structure de fermeture avec le câble attaché. certain effet supprimeur sur les vibrations du réseau de fermeture. Plus précisément, les neuvième, dixième et vingt-septième modes correspondent à des vibrations de flexion longitudinale, tandis que les vingt-huitième modes correspondent à des vibrations de flexion transversale 4.3. Effet de câbles de commande supplémentaires sur la réponse induite par le vent du réseau d'étanchéité vibrations.

Lors de la construction du réseau de fermeture, il est crucial de prendre en compte la déviation du vent Dans la comparaison de la fréquence d'auto-oscillation de la fermeture de câble supplémentaire et contrôler l'étendue de l'oscillation du câble d'attache. Cette étude examine quatre méthodes de travail différentes structure avec une de la structure de fermeture de câble non fixée, une différence notable de conditions en sélectionnant des cordes d'attache inclinées à des angles de 45 degrés, 60 degrés, 75 degrés jusqu'à 8,9% est observé. Cela indique que la matrice de masse et la matrice de rigidité sont à 90 degrés par rapport au sol. Pour évaluer la réponse vibratoire induite par le vent Le modèle de la structure de fermeture du câble supplémentaire a subi des modifications, entraînant une structure de fermeture à différentes vitesses de vent, l'analyse prend en compte des vitesses de vent de base de 6 m/s, 8 m/s, 10 m/s, 12 m/s et 14 m/s. L'angle du vent le plus défavorable pour la fermeture la structure du réseau est déterminée à 90 degrés ; par conséquent, il est choisi pour les calculs. En raison des nombreuses conditions de travail, seul le diagramme déplacement-temps du une structure de réseau de fermeture est prévue sur une distance de 200 m, avec une pré-tension de 12 kN pour les câbles porteurs et une vitesse de base du vent de 10 m/s. Ce diagramme est ensuite comparé au diagramme d'historique de temps de déplacement de la structure du filet d'étanchéité sans supplément câbles, comme illustré à la Figure 21.

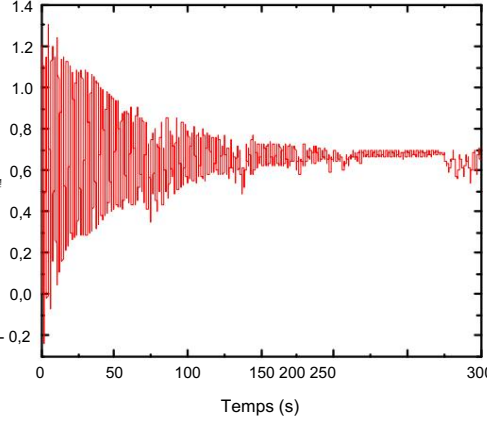
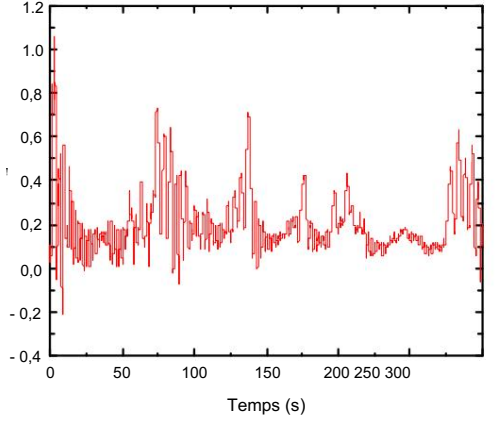
l'angle du vent pour la structure du réseau de fermeture est déterminé comme étant de 90 degrés ; c'est donc choisi pour les calculs. En raison des nombreuses conditions de travail, seule la répartition placementun diagramme temporel de la structure du réseau de fermeture est fourni pour une distance de 200 m, avec une prétension de 12 kN pour les câbles porteurs et une vitesse de vent de base de 10 MS. Ce diagramme est ensuite comparé au diagramme d'historique temporel de déplacement du 27 sur 33 structure de filet d'étanchéité sans câbles supplémentaires, comme illustré à la figure 21.



(a) L'angle entre le câble et le sol est de 45 degrés

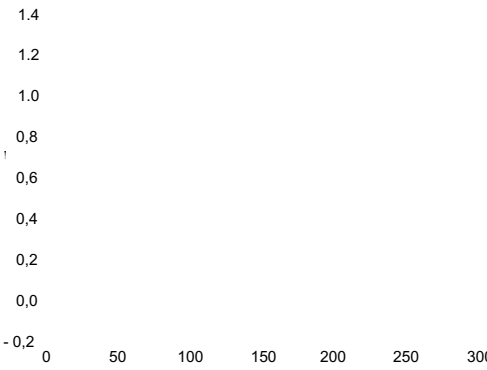
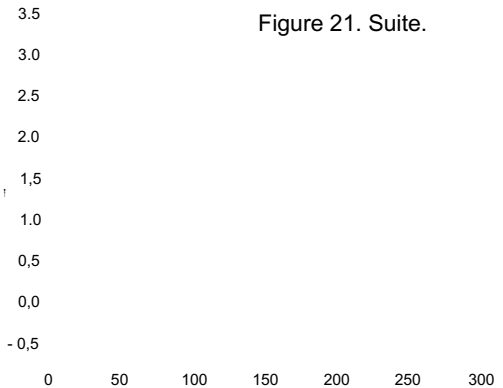


(b) L'angle entre le câble et le sol est de 60 degrés

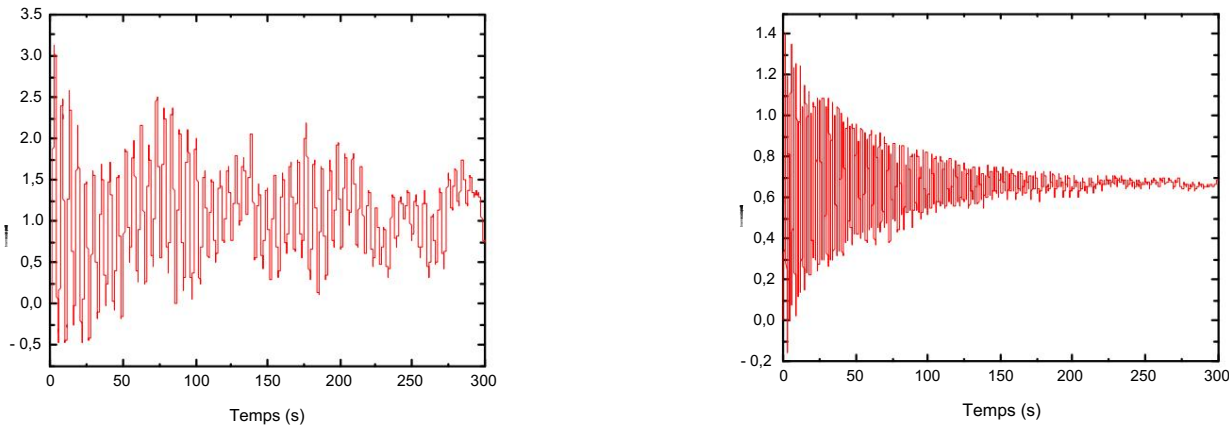


(c) L'angle entre le câble et le sol est de 75 degrés

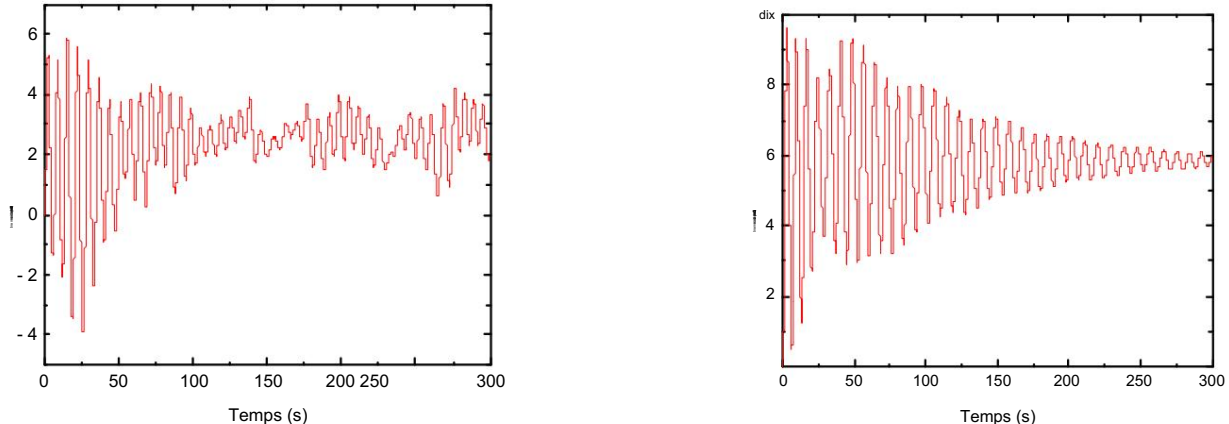
Figure 21. Suite.



(c) L'angle entre le câble et le sol est de 75 degrés



(d) L'angle entre le câble et le sol est de 90 degrés



(e) Pas de câble supplémentaire

Figure 21: Historique temporel des déplacements à mi-portée sous différents angles entre le câble et le sol pour une vitesse de vent de base de 10 m/s.

Comme le montre la figure 20, 21, à une vitesse de base du vent de 10 m/s, la déviation du vent du câble de commande. Parmi eux, l'amplitude de fluctuation du filet d'étanchéité dans l'horizontale la direction diminue progressivement et vibre de manière aléatoire dans une certaine plage ; la fluctuation l'amplitude dans la direction verticale tend vers une certaine valeur. Le maximum et la moyenne les valeurs des déplacements à mi-portée du filet d'étanchéité ont été obtenues en organisant les données calculées, comme indiqué dans le tableau 10.

Tableau 10. Déplacements d'une travée à l'autre des filets d'étanchéité avec différents angles d'attache et de sol pour un vitesse de base du vent de 10 m/s.

Angle entre le câble de séjour et terrain (degrés)	y _{max} (m)	y _j (m)	z _{max} (m)	z _j (m)
45	0,485	0,116	1.170	0,631
60	0,629	0,119	1.182	0,651
75	1.061	0,207	1.306	0,660
90	3.153	1.116	1.365	0,660
Pas de câble supplémentaire	5.916	2.369	9.631	5.859

[illegible]

5. Conclusions

Dans cette étude, le logiciel ANSYS a été utilisé pour établir un modèle par éléments finis de la structure du filet d'étanchéité. Une analyse temporelle a été réalisée pour examiner la réponse aux vibrations du vent de la structure du filet d'étanchéité. En contrôlant la distance de portée du filet d'étanchéité et la prétension des câbles porteurs, la réponse de la structure aux différentes directions et vitesses du vent a été analysée. Sur cette base, l'analyse du contrôle de la déviation du vent a également été réalisée, en tenant compte de l'angle variable entre les câbles de contrôle de la déviation du vent et le sol. Les principales conclusions sont les suivantes : 1. La différence de

fréquence d'auto-oscillation entre la structure d'étanchéité avec et sans le câble de commande de déflexion du vent supplémentaire est perceptible. La présence du câble de commande de déflexion du vent augmente la fréquence globale d'auto-oscillation de la structure d'étanchéité. Cela indique que le câble supplémentaire de contrôle de la déflexion du vent supprime efficacement les vibrations de la structure d'étanchéité. En conséquence, la déflexion du vent de la structure du filet d'étanchéité peut être réduite grâce à une amélioration structurelle en incorporant un câble de commande de déflexion du vent supplémentaire.

2. Le déplacement horizontal du vent et la contrainte terminale de la structure d'étanchéité sont influencés par la direction et la vitesse du vent. La direction du vent la plus critique est de 90 degrés, et le déplacement du vent et la contrainte augmentent avec l'augmentation de la vitesse du vent.

3. Pour réduire la déviation du vent dans toutes les directions (horizontales et verticales), des mesures peuvent être prises pour réduire la portée et augmenter la prétension du câble porteur.

Cependant, se fier uniquement à ces mesures pourrait ne pas garantir les performances de protection nécessaires à la construction. Par conséquent, il est toujours recommandé d'adopter des mesures supplémentaires de contrôle de la déviation du vent, telles que des câbles de contrôle de la déviation du vent, afin de réduire davantage la déviation du vent dans toutes les directions. Dans l'ingénierie pratique, un câble de commande avec un angle de 60 degrés par rapport au sol pour le contrôle de la déviation du vent peut convenir.

4. Il convient de noter que les lignes directrices suivantes, conformément aux conclusions ci-dessus, peuvent également être utilisées pour la conception de structures similaires afin de garantir leur performance efficace et fiable sous les charges de vent. Par exemple, l'installation du câble de commande induit par le vent permet de réduire les vibrations induites par le vent. Veiller à ce que la prétension des câbles porteurs reste dans une plage sûre. Évaluer l'impact de la réduction de l'espacement entre les câbles et de l'augmentation des précipitations sur les déplacements induits par le vent. Mettre en œuvre des mesures supplémentaires de contrôle induites par le vent, telles que des haubans de contrôle induits par le vent, pour répondre aux exigences spécifiques de sécurité de la construction.

Contributions des auteurs : Conceptualisation, MZ et GZ ; méthodologie, MZ, GF et XZ ; logiciel GZ ; validation, GF et XZ ; analyse formelle, GF, XZ et GZ ; enquête, GF et XZ ; ressources, MZ et GZ ; conservation des données, GF ; rédaction – préparation du projet original, MZ et GF ; rédaction – révision et édition, XZ et GZ Tous les auteurs ont lu et accepté la version publiée du manuscrit.

Financement : Cette recherche a été financée par la Fondation des sciences naturelles du Henan (subvention n° 222300420549) et le projet Cultivating Fund for Young Teachers of Zhengzhou University (subvention n° JC21539028).

Déclaration du comité d'examen institutionnel : sans objet.

Déclaration de consentement éclairé : sans objet.

Déclaration de disponibilité des données : les données sont contenues dans cet article.

Conflits d'intérêts : Les auteurs ne déclarent aucun conflit d'intérêts.

Les références

1. Shu, Y. ; Chen, W. Recherche et application de la transmission de puissance UHV en Chine. Haute Volt. 2018, 3, 1-13. [\[Référence croisée\]](#)
2. Shao, T. Discussion et application de la technologie de construction de croisement sans escale de lignes de transport. Electr. Ing. 2017, 8, 135-136, 139.
3. Institut chinois de planification et de conception de l'énergie électrique. Spécification générale pour l'équipement de protection des lignes de transmission GB/T 15145-2017 ; China Planning Press : Pékin, Chine, 2017 ; p. 1 à 5.

4. Mu, Y. Analyse de simulation des ruptures de lignes de transmission agissant sur les filets de protection des équipements de protection sur les voies. Mémoire de maîtrise, Southwest Jiaotong University, Chengdu, Chine, 2021. 5.
Gottardi, G. ; Govoni, L. Modélisation grandeur nature des barrières de protection contre les chutes de pierres. Mécanique de roche. Rock Ing. 2010, 43, 261-274. [\[Référence croisée\]](#)
6. Sasiharan, N. ; Muhunthan, B. ; Blaireau, TC ; Shu, S. ; Carradine, DM Analyse numérique des performances du treillis métallique et systèmes de protection contre les chutes de pierres à filets câblés. Ing. Géol. 2006, 88, 121-132. [\[Référence croisée\]](#)
7. Meng, S.-M. ; Shen, W. ; Tang, B. Analyse de simulation de la collision entre le conducteur tiré et le filet d'étanchéité dans le construction d'un passage à niveau payant. J. Trois Gorges Univ. (Nat. Sci. Ed.) 2020, 42, 91-95.
8. Liu, H. ; Meng, H. ; Couvercle. ; Yao, J. ; Liu, C. ; Liu, R. ; Shen, H. Conception du cadre couvrant utilisé pour le réseau porteur de la ligne de transmission UHV. Dans Actes de la 18e Conférence internationale sur la transmission d'énergie CA et CC (ACDC 2022), virtuelle, 2 et 3 juillet 2022 ; pages 1446 à 1452.
9. Wu, Y. ; Soleil, Y. ; Zheng, Z. ; Sun, X. Ingénierie éolienne et conception structurelle du vent, 1ère éd.; Presse de l'Institut de technologie de Harbin : Harbin, Chine, 2014 ; p. 22-37.
10. Abad, MSA ; Shooshtari, A. ; Esmaeili, V. ; Riabi, AN Analyse non linéaire des structures de câbles sous chargements généraux. Éléments finis. Anal. Des. 2013, 73, 11-19. [\[Référence croisée\]](#)
11. Vaezzadeh, A. ; Dolatshahi, KM Résistance progressive à l'effondrement des structures en treillis de câbles. J.Constr. Acier Rés. 2022, 195, 107347. [\[Référence croisée\]](#)
12. Wu, Y. ; Zhang, W. ; Meng, X. ; Su, Y. Contrôle des vibrations non linéaires des structures de réseaux de câbles avec incertitudes limitées. Acta Mech. 2016, 227, 2985-3000. [\[Référence croisée\]](#)
13. Salvatori, L. ; Spinelli, P. Effets de la non-linéarité structurelle et de la cohérence du vent le long de la portée sur l'aérodynamique des ponts suspendus : Quelques résultats de simulation numérique. J. Wind Eng. Ind.Aérod. 2006, 94, 415-430. [\[Référence croisée\]](#)
14. Escallon, JP; Boetticher, V. ; Wendeler, C. ; Chatzi, E. ; Bartelt, P. Mécanique des grillages à maillons de chaîne avec connexions desserrées. Ing. Structure. 2015, 101, 68-87. [\[Référence croisée\]](#)
15. Khalkhaliha, M. ; Zarfam, P. ; Zarfam, R. Comportement structurel non linéaire et contrôle des vibrations d'un réseau de câbles à double courbure sous les excitations dynamiques. Lat. Suis. J. Structure des solides. 2020, 17, e267. [\[Référence croisée\]](#)
16. Lloyd, A. ; Barry, P. Performance des filets de sécurité sous une charge d'impact à faible vitesse. Dans Actes de la conférence annuelle 2021 de la Société canadienne de génie civil : CSCE21 Structures Track Volume 2. Notes de cours en génie civil ; Springer : Berlin/Heidelberg, Allemagne, 2022 ; Volume 244, pages 421 à 431.
17. Bertolo, P. ; Oggeri, C. ; Peila, D. Tests à grande échelle de filets drapés pour la protection contre les chutes de pierres. Peut. Géotechnologie. J. 2009, 46, 306-317. [\[Référence croisée\]](#)
18. Escallon, JP; Wendeler, C. ; Chatzi, E. ; Bartelt, P. Identification des paramètres des composants de la barrière de protection contre les chutes de pierres grâce à une formulation inverse. Ing. Structure. 2014, 77, 1-16. [\[Référence croisée\]](#)
19. Wang, Y. Étude d'essai en soufflerie sur la structure du réseau d'étanchéité du projet de transport d'énergie sur un chemin de fer à grande vitesse Doubler. Mémoire de maîtrise, Université de Shantou, Shantou, Chine, 2022.
20. Li, C. ; Liu, C. Simulation des champs de vitesse du vent en recourant à une méthode de superposition harmonique basée sur la technique d'interpolation. J. Vib. Choc 2009, 28, 65-69.
21. Holmes, JD; Bekele, S. Chargement dû au vent des structures ; CRC Press : Boca Raton, FL, États-Unis, 2020 ; pp. 154-195.
22. Simiu, E. ; Yeo, D. Effets du vent sur les structures Conception structurelle moderne pour le vent, 4e éd.; Wiley Blackwell : Hoboken, New Jersey, États-Unis, 2019 ; p. 17-51.
23. Institut chinois de planification et de conception de l'énergie électrique. Spécification technique pour la conception des structures de support en acier des frais généraux Ligne de transmission DL/T 5486-2020 ; China Planning Press : Pékin, Chine, 2020 ; pp. 85-87.
24. Conseil chinois de l'électricité. Guide de technologie de construction pour le cordage de tension des lignes aériennes de transmission lors du franchissement de lignes sous tension sans cadre transversal DL/T 5301-2013 ; Maison d'édition China Electric Power : Pékin, Chine, 2014 ; p. 7-18.
25. Zhang, G. ; Soleil, W. ; Wu, Y. ; Fu, J. ; Yao, Y. Technologie de construction de lignes aériennes de transport d'électricité sur des chemins de fer à grande vitesse . Construction de puissance. 2011, 32, 94-97.
26. Otarawanna, S. ; Ngiamsoongnirn, K. ; Malatip, A. ; Eiamaram, P. ; Phongthanapanich, S. ; Juntasaro, E. ; Kowitwarangkul, P. ; Intarakumthornchai, T. ; Boonmalert, P. ; Bhothikhun, C. Une suite logicielle éducative pour un apprentissage complet de l'ingénierie assistée par ordinateur. Calculer. Appl. Ing. Educ. 2020, 28, 1083-1109. [\[Référence croisée\]](#)
27. Yang, Q. ; Li, CM Ansys, recherche de forme de structure de câble et simulation de lignes à chaînes suspendues. Inf. Technologie. Civ. Ing. Constr. 2010, 2, 61-65.
28. Wojcik-Grzaba, I. Méthode de densité de force étendue pour les filets de câbles sous poids propre. Partie II—Exemples d'application. Cambre. Civ. Ing. 2022, 68, 45-61.
29. Qi, X. ; Lingfeng, Z. ; Jingsu, C. ; Yi, Z. Modélisation Ansys et analyse des propriétés dynamiques de la transmission basale compacte et étroite la tour. Ressource en eau. Pouvoir 2011, 29, 167-168, 186.
30. Loi ferroviaire de la République populaire de Chine. Bulletin du Comité permanent de l'Assemblée populaire nationale du peuple République de Chine; Maison d'édition des chemins de fer de Chine : Pékin, Chine, 2015 ; p. 14-20.
31. Zhang, Z. Processus de construction de couverture à travers des lignes sous tension sans système de couverture à cadre couvrant. Technologie. Vent. 2011, 20, 156-157.
32. Tang, J. ; Xie, X. Étude sur l'aptitude au service des vibrations d'un pont suspendu pour piétons à grande portée sous des vents latéraux. Université J.Zhejiang. (Ed. anglais) 2021, 55, 1903-1911.

33. Wang, D. ; Wang, J. ; Xia, Z. ; Zhang, X. ; Wang, J. ; Wang, J. Développement d'un dispositif de masquage d'isolation pour la fixation des fils de phase et traverses en bord de tirant dans un réseau de distribution. Énergie électrique 2023, 44, 29-32.
34. Nitesh, K. ; Shetty, KK ; Sheoy, P. Influence des profils de câbles sur les performances du pont à haubans. Int. J.Civ. Ing. Technologie. 2018, 9, 1136-1142.

Avis de non-responsabilité/Note de l'éditeur : Les déclarations, opinions et données contenues dans toutes les publications sont uniquement celles du ou des auteurs et contributeurs individuels et non de MDPI et/ou du ou des éditeurs. MDPI et/ou le(s) éditeur(s) déclinent toute responsabilité pour tout préjudice corporel ou matériel résultant des idées, méthodes, instructions ou produits mentionnés dans le contenu.