

Estimation des charges

Pour bien étudier une structure afin que sa stabilité soit assurée, faire l'inventaire des actions auxquelles elle est soumise est une étape indispensable.

Les actions, ce sont les forces et les couples dus aux charges appliquées et aux déformations imposées à une construction. On distingue les actions permanentes, les actions variables et les actions accidentelles.

Les actions permanentes : ce sont les actions dont l'intensité est constante ou très peu variable dans le temps, pour notre ouvrage, on a : le poids propre de la structure, poids des équipements fixes, poussées de terre, les déformations imposées.

Les actions variables : ces actions sont celles dont l'intensité varie fréquemment et de façon importante dans le temps. On distingue, les charges d'exploitations, les charges climatiques (vent) et les effets dus à la température.

Les actions accidentelles : elles représentent les charges provenant des phénomènes se produisant rarement et avec une faible durée d'application comme le cas de chocs des véhicules dans ce projet.

Charges permanentes

Les charges permanentes regroupent le poids propre de l'ouvrage, le poids de tous les équipements fixes et les forces correspondant aux déformations imposées.

I. 1. 1. Poids propre

La valeur caractéristique est prise égale à la valeur probable :

Densité de l'acier = $78,5 \text{ [kN/m}^3\text{]}$

Poids de la charpente métallique :

Poids unitaire des treillis constituant les poutres principales = $2,2 \text{ [kN/ml]}$

Poids par mètre linéaire de l'entretoisement = $1,08 \text{ [kN/ml]}$

Ainsi pour l'ensemble de la charpente métallique, on a : $P_{cm} = 5,48$ [kN/ml]

Poids du platelage :

On sait que le poids de platelage est de 185 kg/m^2 . Avec une largeur du tablier de 8 [m], le poids par ml est donc de : $P_{pl} = 14,8$ [kN/ml].

Le poids propre du tablier est par conséquent :

$$P_p = 20,28 \text{ [kN/ml]}$$

I. 1. 2. Poids des équipements fixes

Ils sont calculés à partir du plan de superstructure de l'Eurocode 1.

Tableau 28 : Poids des équipements fixes

	Poids unitaire	Valeur probable	Coefficient majorateur	Coefficient minorateur	Valeur caractéristique maximale	Valeur caractéristique minimale
Pour une poutre principale						
Chasse roue + lisse	2,5 [kN/ml]	2,5[kN/ml]	1,05	0,95	2,625 [kN/ml]	1,375 [kN/ml]
Garde-corps	1,56 [kN/ml]	1,5 [kN/ml]	1,05	0,95	1,58 [kN/ml]	1,42 [kN/ml]
Pour une pièce de pont						
Chasse roue + lisse	2,5[kN/ml]	6,13[kN]	1,05	0,95	6,44[kN]	5,82 [kN]

I. 2. Surcharges de chaussée

I. 2. 1. Les systèmes de surcharges

Les surcharges à prendre en compte dans les calculs sont celles qui sont définies dans la norme NF EN 1991-2.

Ce modèle couvre la plupart des effets du trafic des camions et des voitures, on l'utilise pour les vérifications générales et les vérifications locales.

Classe du trafic :

D'après la norme, compte tenu de la composition du trafic sur l'itinéraire et de la grande probabilité de circulation d'une grande proportion de véhicules se rapportant à des activités utilitaires lourdes, il est plus convenable d'opter pour un trafic de classe 1 qui couvre les effets d'accumulations possibles de véhicules lourds sur l'ouvrage.

On a donc les valeurs des coefficients d'ajustement pour le système de surcharge LM1 suivantes :

$$\alpha_{Q1} = 1,0 \quad ; \quad \alpha_{Q2} = 1,0 \quad ; \quad \alpha_{q1} = 1,0 \quad ; \quad \alpha_{q2} = 1,2 \quad \text{et} \quad \alpha_{qr} = 1,2$$

Nombre de voies conventionnelles n_l :

Comme la largeur de la chaussée est $w = 7 \text{ [m]} \geq 6 \text{ [m]}$, le nombre de voies de circulation est :

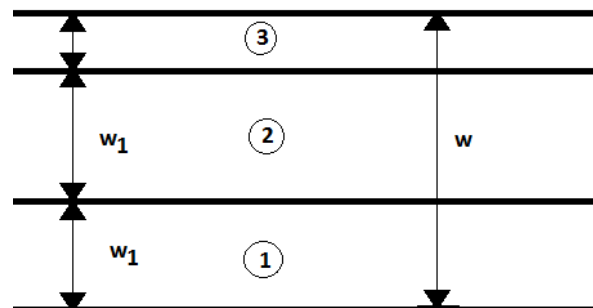
$$n_l = \text{Int} \left(\frac{w}{3} \right) = 2$$

Largeur d'une voie de circulation :

$$W_1 = 3 \text{ [m]}$$

La largeur de l'aire résiduelle :

$$w - 2 \cdot w_1 = 1 \text{ [m]}$$



Légende

- w** : largeur de la chaussée
- w₁** : largeur de la voie conventionnelle
- 1** : voie conventionnelle n°1
- 2** : voie conventionnelle n°2
- 3** : aire résiduelle

Figure 27: Numérotation des voies

Valeurs des chargements :

Pour le système TS (Tandem),

$$Q_{1k} = 300 \text{ [kN]} \text{ et } \alpha_{Q1} = 1,0 \text{ donc, } \alpha_{Q1} \cdot Q_{1k} = 300 \text{ [kN]} ;$$

$$Q_{2k} = 200 \text{ [kN]} \text{ et } \alpha_{Q2} = 1,0 \text{ donc, } \alpha_{Q2} \cdot Q_{2k} = 200 \text{ [kN]} ;$$

$$Q_{rk} = 0 \text{ [kN]} \text{ donc, } \alpha_{Qr} \cdot Q_{rk} = 0 \text{ [kN]}.$$

La disposition des essieux pour les vérifications de flexion locale est représentée par le schéma suivant :

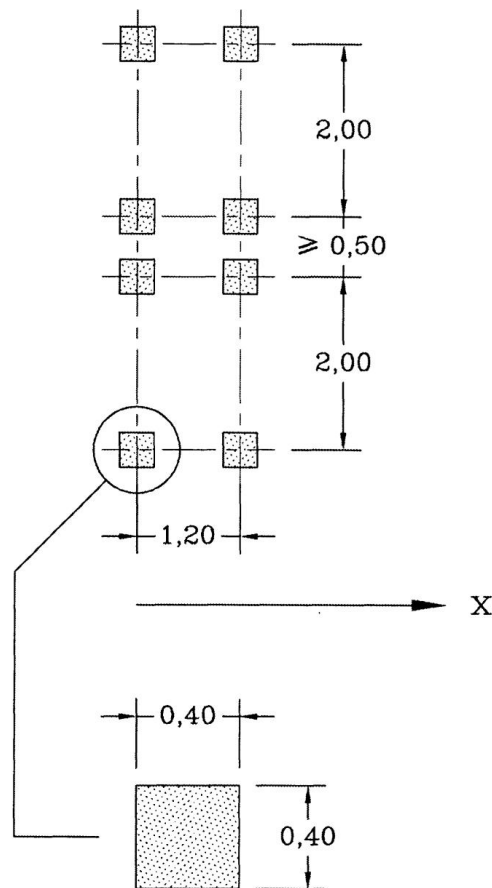


Figure 28 : Application des tandems pour les vérifications locales

Pour le système UDL (charges uniformément réparties),

$$q_{1k} = 9 \text{ [kN/m}^2\text{]} \text{ et } \alpha_{q1} = 1,0 \text{ donc } \alpha_{q1} \cdot q_{1k} = 9 \text{ [kN/m}^2\text{]} ;$$

$$q_{2k} = 2,5 \text{ [kN/m}^2\text{]} \text{ et } \alpha_{q2} = 1,2 \text{ donc } \alpha_{q2} \cdot q_{2k} = 3 \text{ [kN/m}^2\text{]} ;$$

$$q_{rk} = 2,5 \text{ [kN/m}^2\text{]} \text{ et } \alpha_{qr} = 1,2 \text{ donc } \alpha_{qr} \cdot q_{rk} = 3 \text{ [kN/m}^2\text{]}.$$

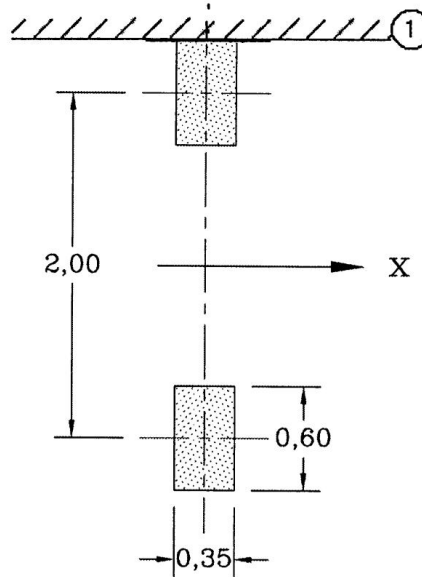
I. 2. 1. 2. Modèle de charge 2 : LM2

Valeurs caractéristiques de chargement :

Le poids d'essieu unique est $\beta_Q \cdot Q_{ak}$, avec $Q_{ak} = 400$ [kN] et $\beta_Q = 0,80$.

$\beta_Q \cdot Q_{ak} = 320$ [kN]

Le poids d'une roue est $200 \cdot \beta_Q = 160$ [kN]



Légende

X Direction de l'axe longitudinal du pont

1 Bordure

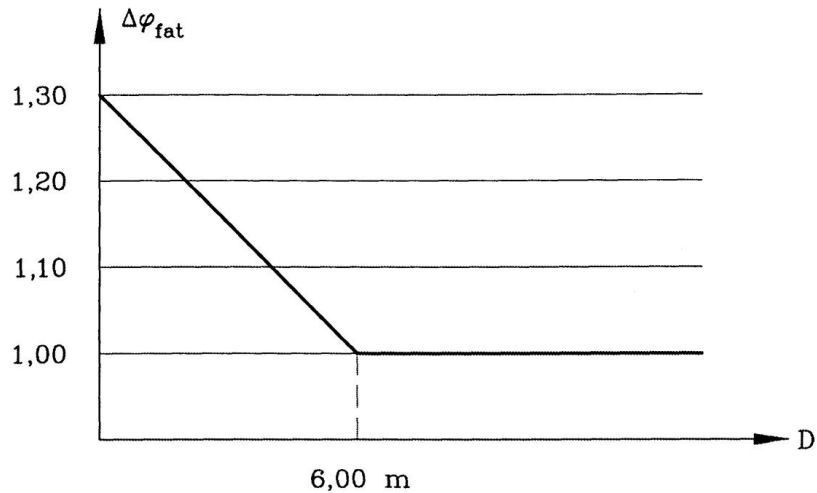
Figure 29: Modèle de charge LM2 pour les vérifications locales

Au voisinage des joints, les charges du modèle LM2 sont frappées par un coefficient de majoration dynamique supplémentaire $\Delta_{\varphi \text{ fat}}$, la valeur de ce coefficient est :

$$\Delta_{\varphi \text{ fat}} = 1,30 \cdot \left(1 - \frac{D}{26}\right) \geq 1$$

$\Delta_{\varphi \text{ fat}}$: coefficient de majoration dynamique supplémentaire ;

D [m] : distance entre la section transversale considérée et le joint de dilatation.



Légende

$\Delta\varphi_{fat}$ Coefficient de majoration dynamique supplémentaire

D Distance entre la section transversale considérée et le joint de dilatation

Figure 30 : Représentation du coefficient de majoration dynamique supplémentaire

Nous utiliserons la simplification indiquée par la note de la norme qui consiste à prendre comme valeur du coefficient de majoration dynamique $\Delta\varphi_{fat} = 1,3$ pour toute section transversale située à $D \leq 6$ [m].

Nous allons prendre la valeur de LM2 dans le cas le plus défavorable, donc on a,

Pour un essieu : $\beta_Q \cdot Q_{ak} \cdot \Delta\varphi_{fat} = 416$ [kN]

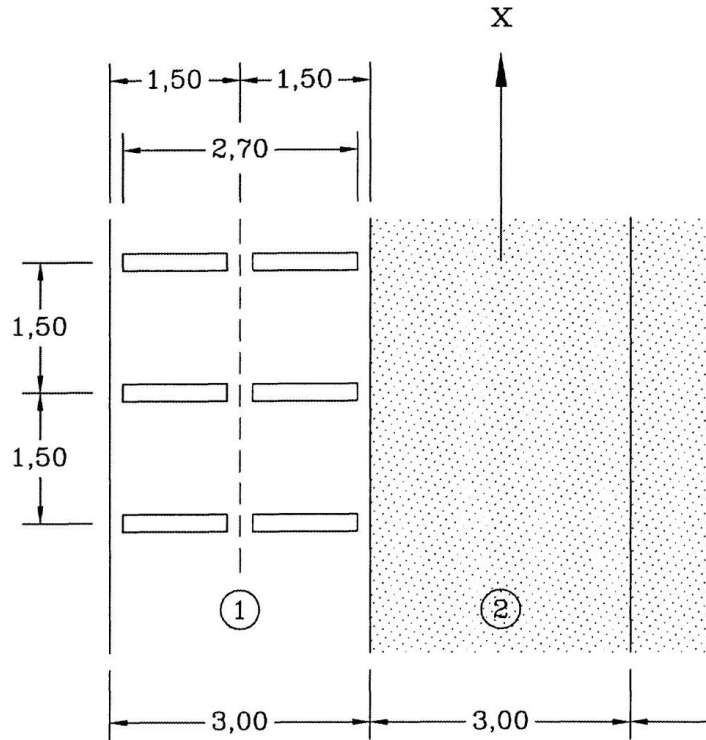
Pour une roue : $200 \cdot \beta_Q \cdot \Delta\varphi_{fat} = 208$ [kN]

Convoi exceptionnel : LM3

La prise en compte éventuelle des véhicules spéciaux pour le dimensionnement des ponts est spécifiée par le projet individuel. Il précisera les conditions de passage de ces véhicules sur le pont.

Même si le modèle de charge 1 couvre automatiquement certaines configurations de véhicules spéciaux, dans ce projet, il nous convient quand même de les définir et d'en prendre compte. Il sera pris en compte le convoi 900/150 défini dans l'annexe A de la norme NF EN 1991-2.

Ce modèle est constitué par 6 essieux de 150 kN espacés de 1,50 m. Avec une largeur de 3 m, son poids total est de 900kN. Chaque essieu est constitué par deux roues espacées de 0,30 m dont chacune a un rectangle d'impact de 1,20 m x 0,5 m sur la chaussée.



Légende

Lignes d'essieux de 150 kN ou 200 kN ($b = 2,70$ m)

X Direction de l'axe de l'ouvrage

(1) Voie 1

(2) Voie 2

Figure 31 : Application des convois spéciaux sur les voies conventionnelles

Comme nous avons supposé que les véhicules spéciaux se déplacent à vitesse normale, on va tenir compte du coefficient de majoration dynamique φ qui est égal à :

$$\varphi = 1,40 - \frac{L}{500} \geq 1$$

Avec, $L = 240$ [m] : longueur d'influence ; on a : $\varphi = 1$

$$\mathbf{LM3_{convoi} = 900 \text{ [kN]}}$$

De plus, on va tenir aussi compte d'une force de freinage des convois, elle égale à 30% du poids total des véhicules spéciaux = $0,3 \times 900$ [kN] :

$$LM3_{\text{freinage}} = 270 \text{ [kN]}$$

Nous allons considérer le cas où les convois spéciaux sont mêlés au trafic. Sur la voie n°1 s'applique alors le modèle de charge LM3. Les deux voies ainsi que l'air résiduel sont chargées par LM1, de façon à ce que sur la voie n°1 où s'applique LM3, LM1 s'applique à 10[m] des essieux du véhicule spécial. Ce mode de chargement est représenté par la figure qui suit :

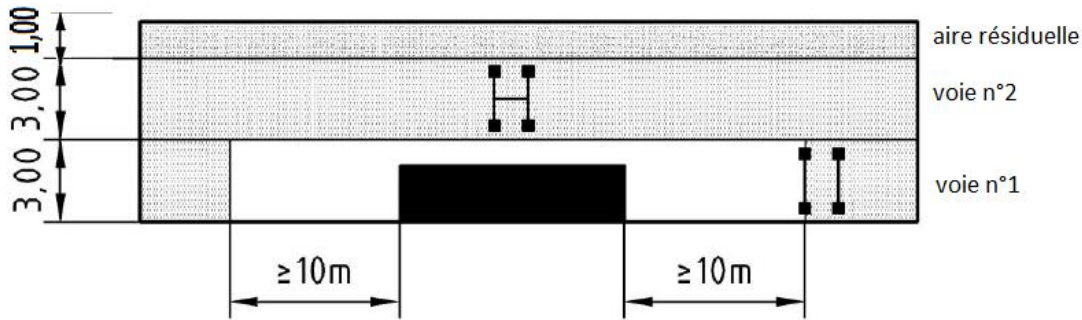


Figure 32 : Application de la charge LM3 et LM1 sur les voies conventionnelles.

I. 2. 2. Surcharge de trottoir

Pour le cas des surcharges de trottoir, on considère une force uniformément répartie q_{fk} d'intensité $q_{fk} = 3$ [kN/m²].

I. 2. 3. Force de freinage et d'accélération

Une force de freinage, s'exerçant longitudinalement au niveau de la chaussée, doit être prise en compte. Pour la largeur totale du pont, sa valeur caractéristique Q_{lk} est limitée à 900 kN.

$$Q_{lk} = 0,6 \cdot \alpha_{Q1} \cdot (2 \cdot Q_{1k}) + 0,10 \cdot \alpha_{q1} \cdot q_{1k} \cdot w_l \cdot L$$

$$180 \cdot \alpha_{Q1} \leq Q_{lk} \leq 900 \text{ [kN]}$$

Avec, $L = 240$ [m] : longueur du tablier ou de la partie considérée de celui-ci.

$$\alpha_{Q1} = 1,0$$

$$Q_{1k} = 300 \text{ [kN]}$$

$$\alpha_{q1} = 1,0$$

$$q_{1k} = 9 \text{ [kN]}$$

$$w_l = 3 \text{ [m]}$$

Comme la valeur calculée est $1008 \text{ [kN]} > 900 \text{ [kN]}$, on va prendre $Q_{1k} = 900 \text{ [kN]}$.

La force d'accélération a la même valeur que cette force de freinage mais de sens opposée.

Détermination des groupes de charge de trafic

La simultanéité des systèmes de chargement, des forces horizontales et des charges de trottoir doit être prise en compte et considéré séparément comme une action caractéristique pour la combinaison avec des charges autres que celles du trafic. Pour faciliter la formation de combinaison et limiter le nombre de cas à considérer, les différents modèles de charges ont été groupés pour former cinq « groupes de charges » notés gr1 à gr5.

Nous allons prendre en compte les groupes de charge définis ci-après :

Gr1a, gr1b, gr2, gr3 et gr5

I. 2. 4.1. Groupe de charge « gr1a »

Gr1a = LM1 (UDL+TS) + charges de trottoir et piste cyclable

I. 2. 4.2. Groupe de charge « gr1b »

Gr1b = valeur caractéristique de LM2

I. 2. 4.3. Groupe de charge gr2

Gr2 = valeur fréquente de LM1 + force de freinage et d'accélération

I. 2. 4.4. Groupe de charge « gr3 »

Gr3 = valeur caractéristique de la surcharge de trottoir

I. 2. 4.5. Groupe de charge « gr5 »

Gr5 = LM1 (UDL+TS) + LM3

I. 2. 4.6. Modélisation des groupes de charges

Nous allons considérer la position des chargements dans leurs cas les plus défavorables.

- Cas de chargement gr1a

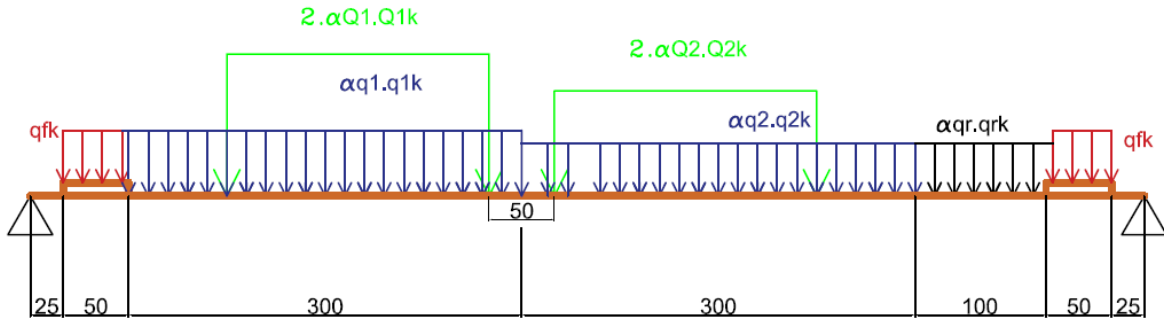


Figure 33: Modélisation de gr1a

- Cas de chargement gr1b

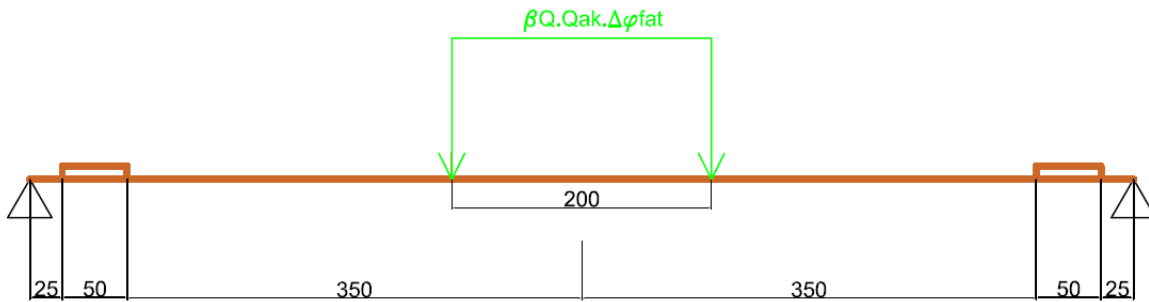


Figure 34 : Modélisation de gr1b

- Cas de chargement gr2

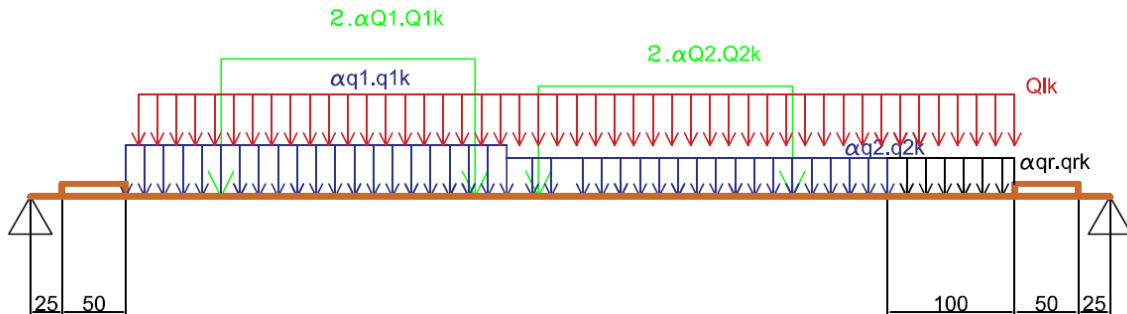


Figure 35 : Modélisation de gr2

- Cas de chargement gr3

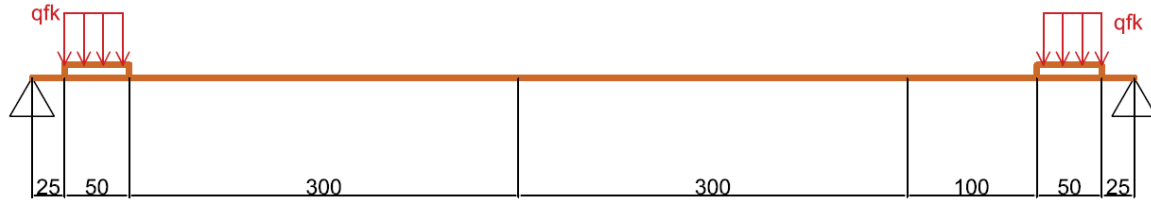


Figure 36 : Modélisation de gr3

▪ Cas de chargement gr5

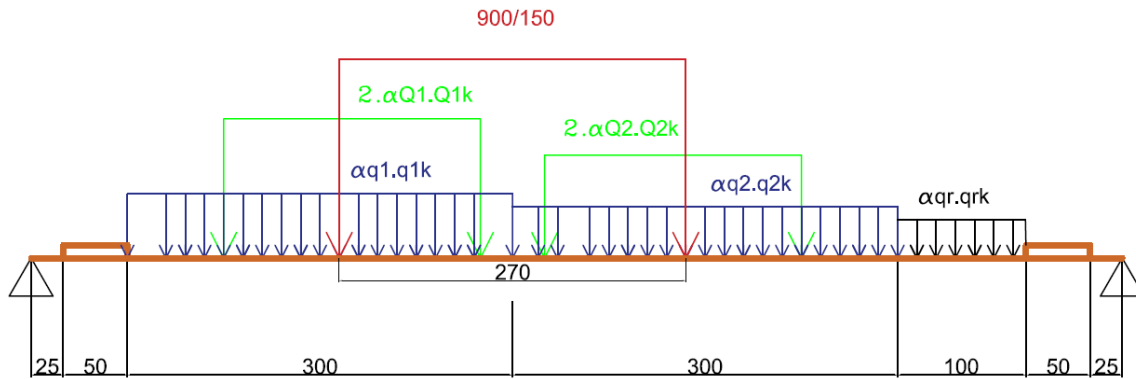


Figure 37 : Modélisation de gr5

Dans la pratique, le groupe de charge n°1 est le plus important pour l'étude des états générales et les effets locaux du pont.

Le groupe de charge n°2 est axé sur les forces horizontales de freinage et centrifuge.

Le groupe de charge n°3 permet d'étudier la flexion transversale des encorbellements latéraux des tabliers puisque seuls les trottoirs et les pistes cyclables sont chargés.

Le groupe de chargement n°4 est axé sur la charge de foule. (Nous ne l'avons pas considéré parce que notre projet est en zone rurale).

Et enfin, le groupe de charge n°5 qui est axé sur les véhicules spéciaux.

I. 3. Surcharge climatique

I. 3. 1. Effet du vent

Le calcul de la résistance et de la stabilité d'un ouvrage doit prendre en compte tous les efforts auxquels il est soumis. L'action du vent fait partie de ces efforts. Elle est calculée selon la norme Eurocode EN1991-1-4.

Dans ce projet, comme nous avons un pont en arc, il faut étudier l'action du vent exercée sur le tablier et l'action du vent sur l'arc. L'étude de la force exercée par le vent sur le tablier est traité dans le paragraphe 8.2 et 8.3 de la norme EN1991-1-4. Il convient de considérer comme simultanées les forces exercées sur les différentes parties d'un pont, dues à un vent soufflant dans la même direction, si leur effet est défavorable.

Les actions du vent sur le pont produisent des forces suivant les directions suivantes :

La direction x qui est la direction parallèle à la largeur du tablier, perpendiculaire à la travée ;

La direction y qui est la direction dans le sens de la travée ;

Et la direction z, la direction perpendiculaire au tablier.

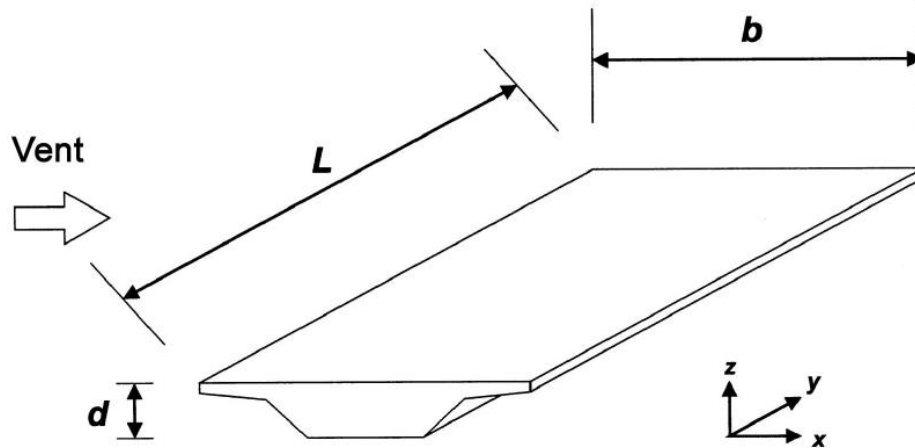


Figure 38 : Direction des actions du vent sur le pont

I. 3. 1.1. Turbulence du vent

La turbulence du vent à la hauteur z est définie comme étant le rapport entre l'écart type de la turbulence et la vitesse moyenne du vent. Elle est notée par $I_v(z)$.

$$I_v(z) = \frac{\sigma_v}{V_m(z)} = \frac{k_I}{c_0(z) \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)}$$

$k_I = 1$: coefficient de turbulence ;

$c_0 = 1$: coefficient orographique ;

$z = 10$ [m] : côte du tablier ;

$z_0 = 0,003$ [m] : longueur de rugosité (donnée par l'annexe IV.B), car on est en zone côtière exposée au vent de la mer.

Ainsi, $I_v(z) = 0,127$