



# TIPE : RÉSISTANCE DES BÂTIMENTS AU VENT



# Sommaire

I) Introduction

II) Évolution des échelles de beaufort

III) Modélisation du vent et de la température sur une structure

IV) Modélisation du point de rupture d'une structure

V) Conclusion

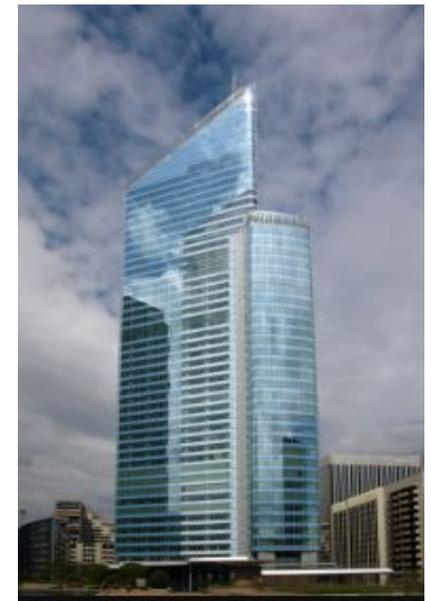
## I) Introduction

1885 : Premier Gratte ciel au monde (41 m)

1973 : Inauguration du premier gratte ciel français (210 m)

2010 : Inauguration du plus grand gratte ciel mondial (829.8 m)

2011 : Inauguration du plus grand gratte ciel français (231 m)





## I) Introduction

### Problématique

Comment représenter l'effet du vent sur les bâtiments ?

### Objectifs

1. Comparer les échelles de beaufort sur les dernières années
2. Étude du comportement du béton vis-à-vis de la chaleur et du vent
3. Déterminer le point de rupture d'une tour

## II) Évolution des échelles de beaufort

Échelle de Beaufort		Description	Vitesse du vent	Échelle de Beaufort		Description	Vitesse du vent
0		Calme	0-2 km/hr	6		Vent frais	39-49 km/hr
1		Brise à peine détectable	2-5 km/hr	7		Vent fort	50-61 km/hr
2		Légère brise	6-11 km/hr	8		Forts coups de vent	62-74 km/hr
3		Douce brise	12-19 km/hr	9		Coups de vent violents	75-88 km/hr
4		Brise	20-28 km/hr	10		Tempête	89-102 km/hr
5		Bonne brise	29-38 km/hr	11		Violente tempête	103-117 km/hr
				12		Ouragan	≥118 km/hr

## II) Évolution des échelles de beaufort

5 parties : Nord-Est, Nord-Ouest, Sud-Est, Sud-Ouest, Corse

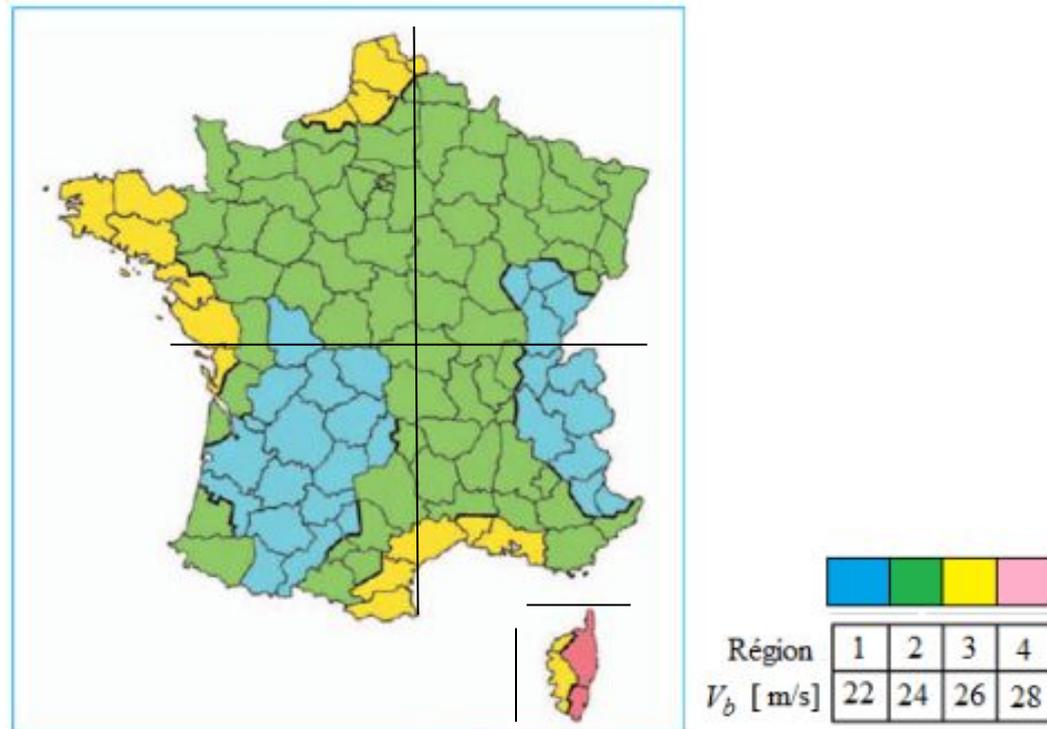


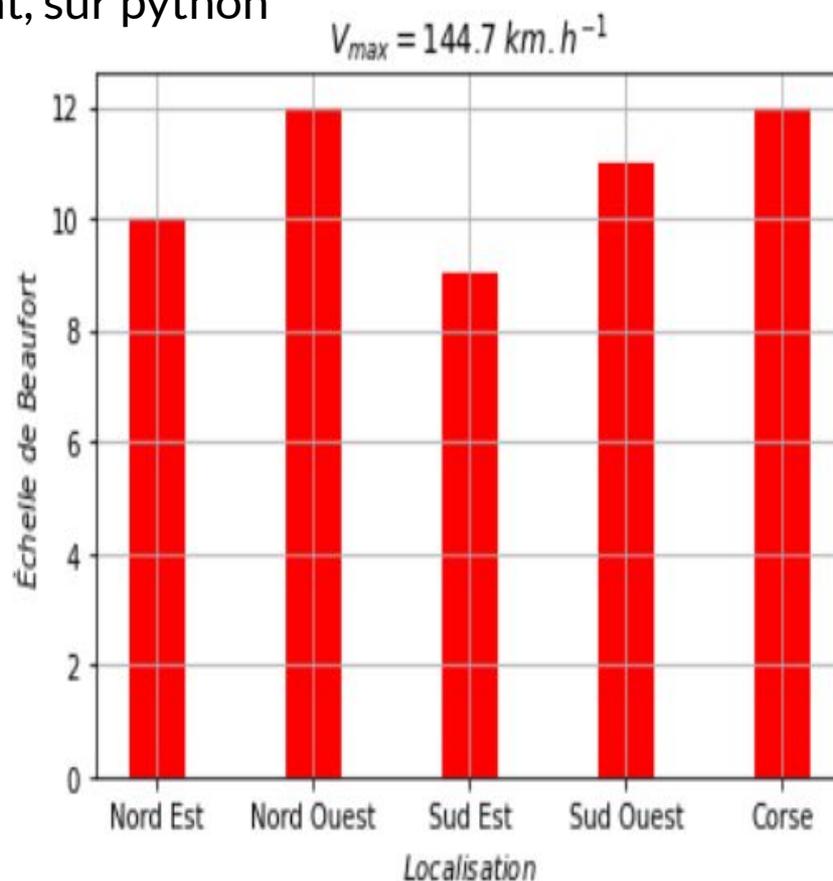
Fig. 2 : Carte de la valeur de base de la vitesse de référence en France

## II) Évolution des échelles de beaufort

-5 villes (Strasbourg, Le Havre, Marseille, Bordeaux, Ajaccio)

-Obtention du graphique suivant, sur python

1	69.5	105.6	83.7	83.5	68.4
2	90.0	144.7	85.3	82.8	95.0
3	68.4	78.1	85.3	54.7	50.4
4	100.8	90.7	82.1	100.8	90.0
5	73.4	100.8	62.8	68.4	46.8
6	80.3	89.3	75.6	104.8	79.2
7	57.6	70.4	46.7	47.2	64.8
8	54.7	58.3	72.4	54.0	133.2
9	64.8	96.5	75.6	64.8	68.4
10	64.8	100.8	57.9	75.6	46.8
11	64.8	125.9	75.6	82.8	90.0
12	68.4	101.9	67.6	54.0	57.6



### III) Modélisation du vent et de la température sur une structure

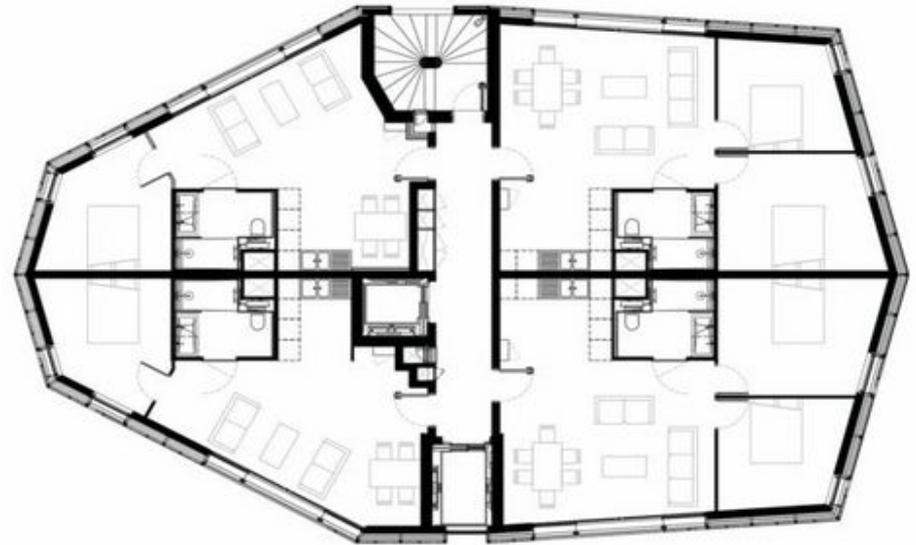
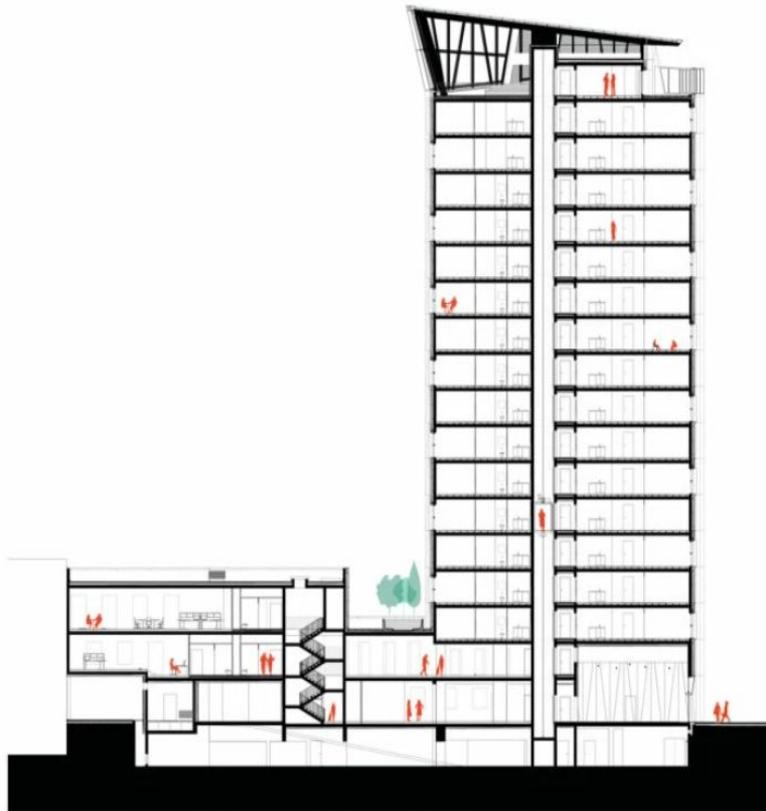
-Tour Elithis Arsenal (Dijon)

-Vent de 40,2 m/s (144,7 km/h) selon X+/Y- vers X-/Y+  
(nord-est vers sud-ouest)



### III) Modélisation du vent et de la température sur une structure

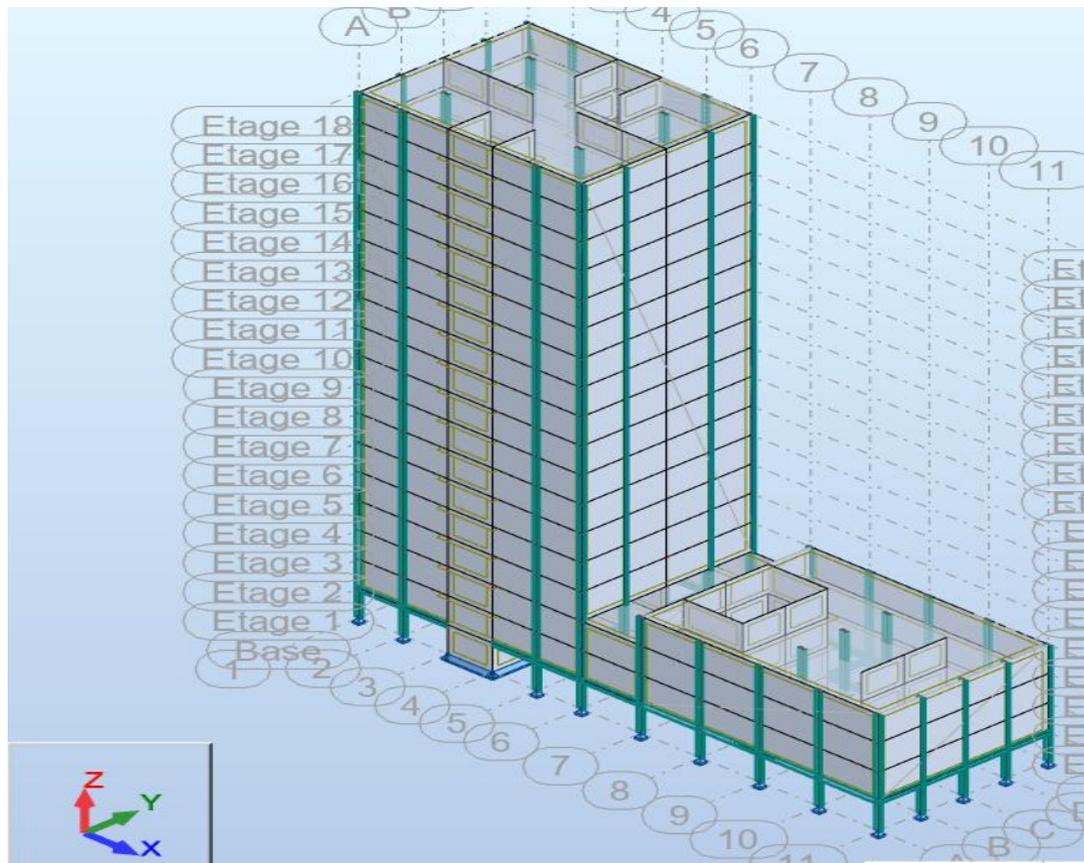
-Bâtiment étudié, tour Elithis Arsenal (Dijon)



0 2 4 10 en m

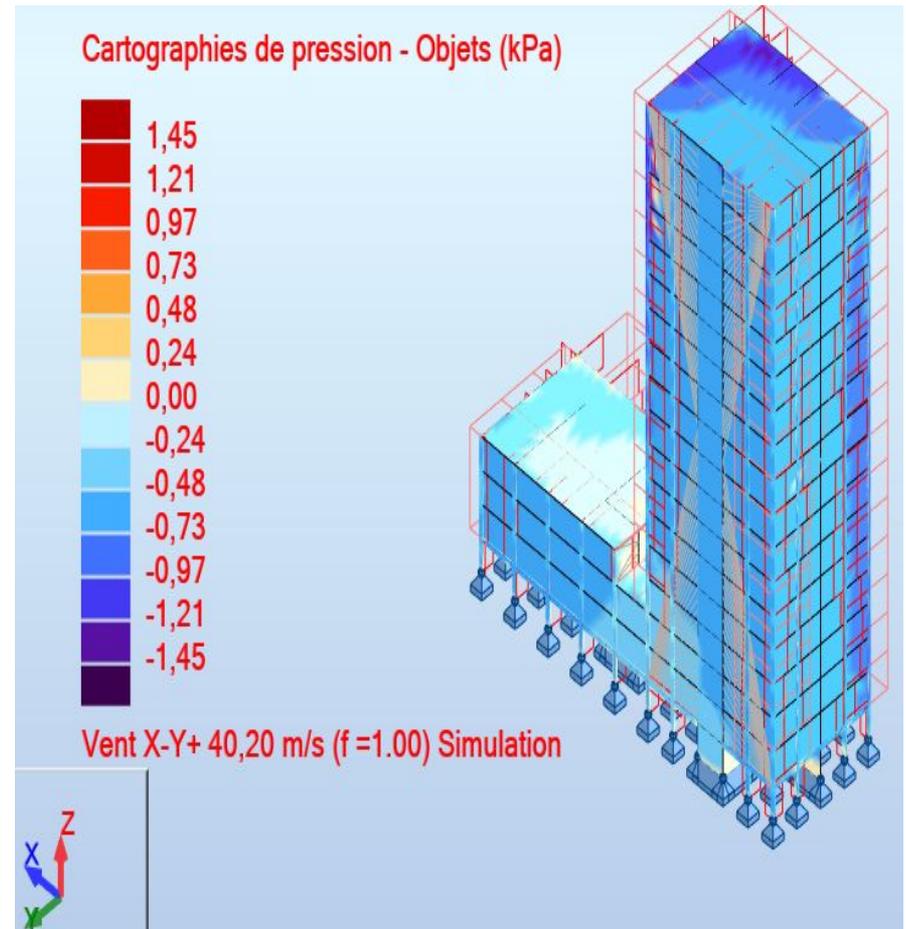
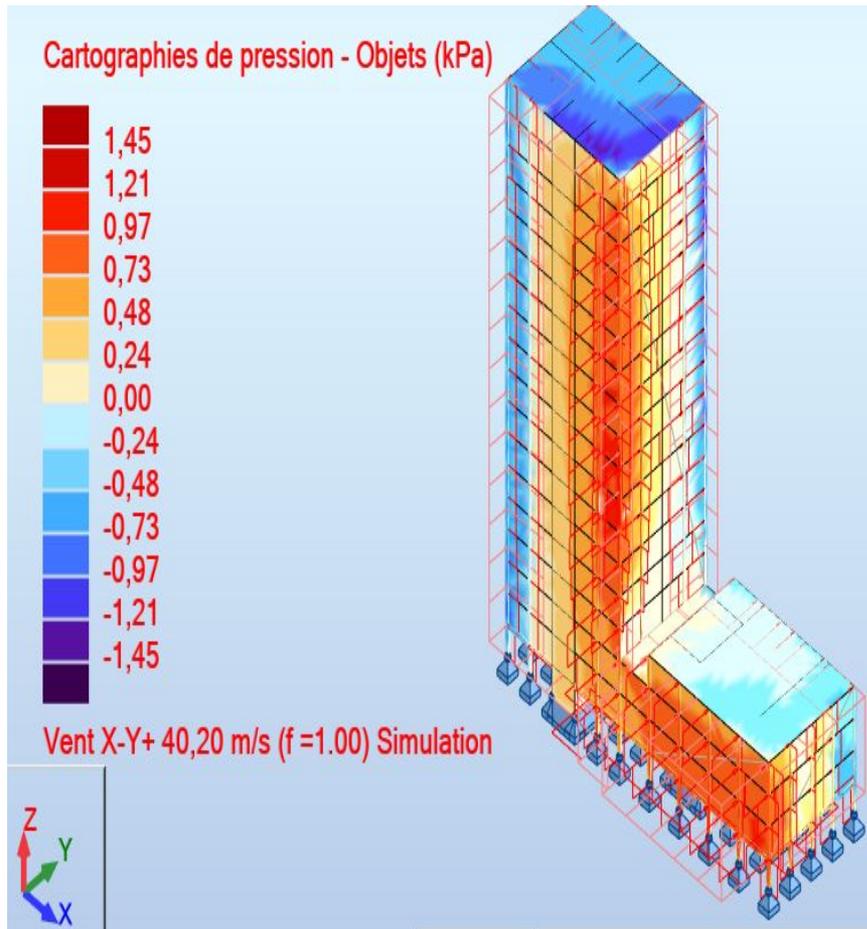
# III) Modélisation du vent et de la température sur une structure

-Modélisation de la tour sur Robot Structural Analysis



# III) Modélisation du vent et de la température sur une structure

-Résultats de la déformation du vent (X+ et Y-, nord-est vers sud-ouest)



# III) Modélisation du vent et de la température sur une structure

Déplacements maximaux :

dZ : 3,5 cm, dY = 2,0 cm, dX = 0,8 cm

Réactions maximales :

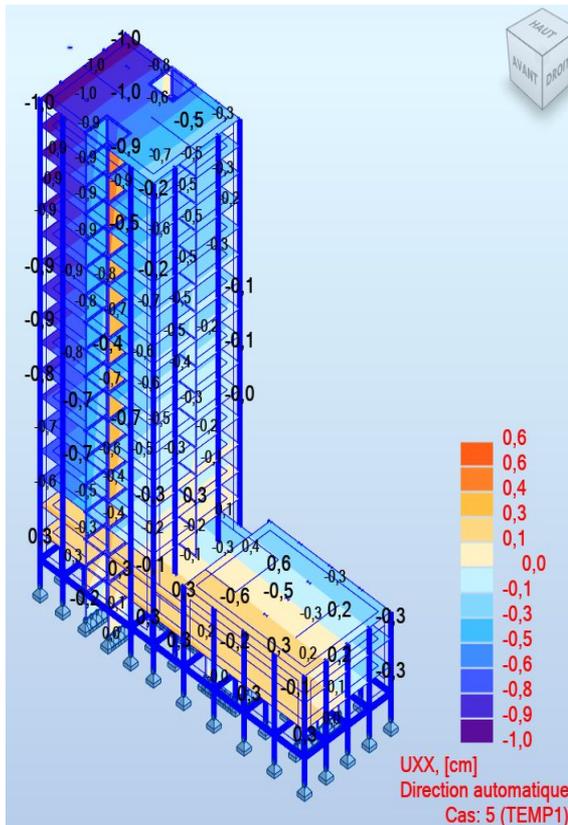
FX : 323,31 kN, FY : 331,11 kN, FZ : 1047,70 kN

Noeud/Cas	UX [cm]	UY [cm]	UZ [cm]
6581/ 2	-0,1	0,3	-0,0
6582/ 1	0,0	-0,0	-0,2
6582/ 2	-0,1	0,3	-0,0
6583/ 1	0,0	0,0	-0,2
6583/ 2	-0,1	0,3	-0,1
6584/ 1	0,0	0,0	-0,2
6584/ 2	-0,0	0,3	0,1
6585/ 1	0,0	0,0	-0,2
6585/ 2	-0,0	0,3	0,1
6586/ 1	0,0	0,0	-0,2
6586/ 2	-0,0	0,3	0,0
6587/ 1	0,0	0,0	-0,2
6587/ 2	-0,1	0,3	0,0
6588/ 1	0,0	0,0	-0,2
6588/ 2	-0,1	0,3	0,0
6589/ 1	0,0	-0,0	-0,2
6589/ 2	-0,1	0,3	-0,0
6590/ 1	0,0	-0,0	-0,2
6590/ 2	-0,1	0,3	-0,1
6591/ 1	0,0	-0,0	-0,2

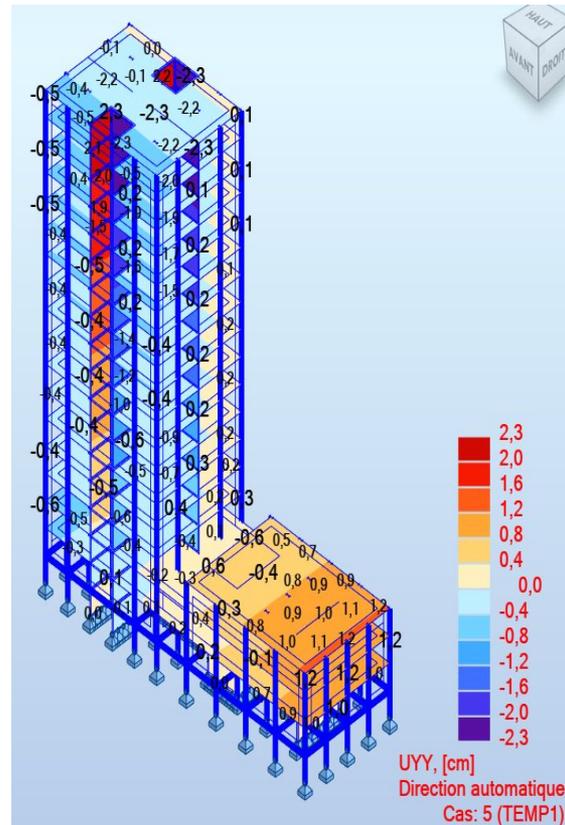
Noeud/Cas	FX [kN]	FY [kN]	FZ [kN]
1/ 1	0,56	-0,67	662,11
1/ 2	0,0	0,0	0,0
1/ 3	0,0	0,0	0,0
1/ 4	0,0	0,0	0,0
1/ 5	-0,23	0,34	-305,41
1/ 6	0,0	0,0	0,0
1/ 7	0,0	0,0	0,0
1/ 8	0,24	2,05	-149,37
3/ 1	-0,49	-0,54	795,21
3/ 2	0,0	0,0	0,0
3/ 3	0,0	0,0	0,0
3/ 4	0,0	0,0	0,0
3/ 5	0,06	0,27	-389,83
3/ 6	0,0	0,0	0,0
3/ 7	0,0	0,0	0,0
3/ 8	-1,55	1,46	-241,50
5/ 1	-0,45	-251,93	496,12
5/ 2	0,0	0,0	0,0
5/ 3	0,0	0,0	0,0
5/ 4	0,0	0,0	0,0
5/ 5	0,22	135,30	-266,36

# III) Modélisation du vent et de la température sur une structure

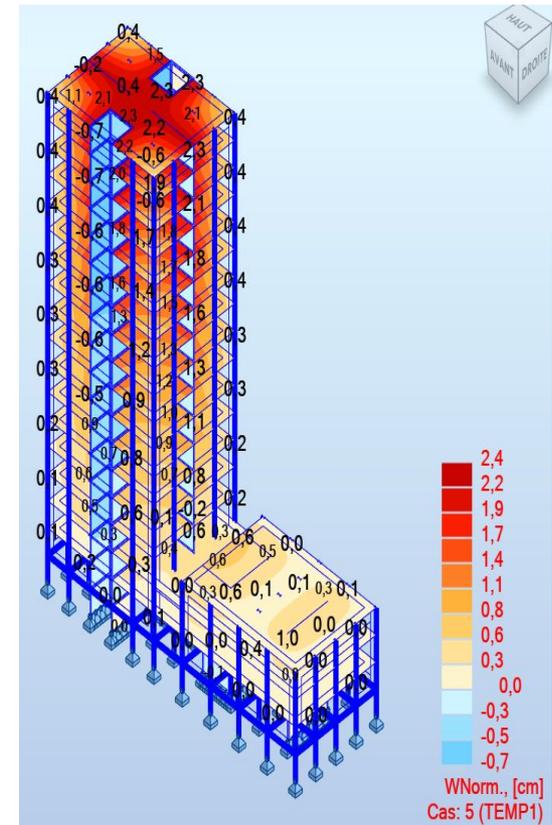
-Déplacement du bâtiment pour une température de 37,2°C (température maximale de Dijon en 2022, selon les axes x, y, et z, dans l'ordre)



x



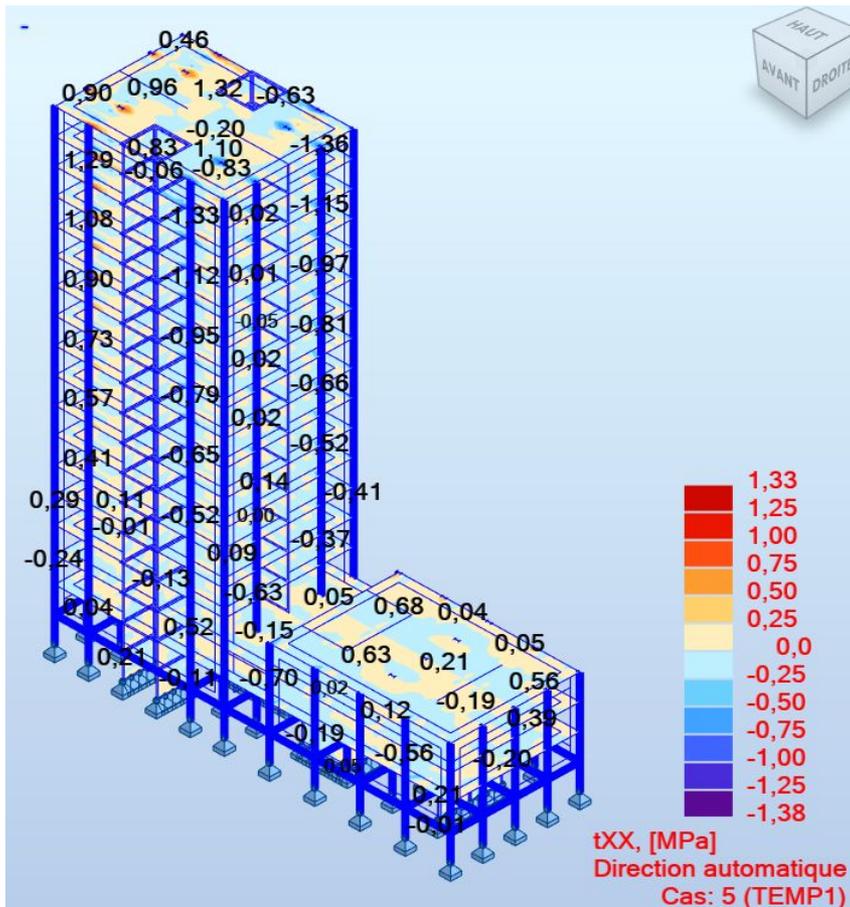
y



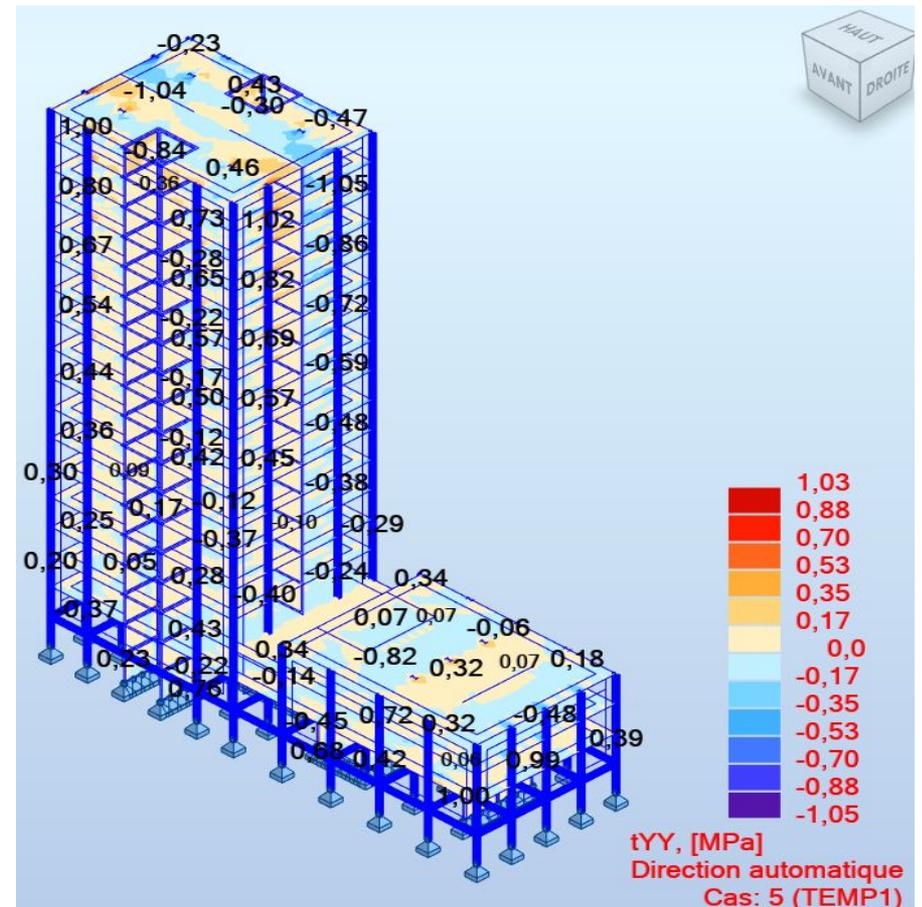
z

# III) Modélisation du vent et de la température sur une structure

-Contraintes de cisailement pour une température de 37,2°C



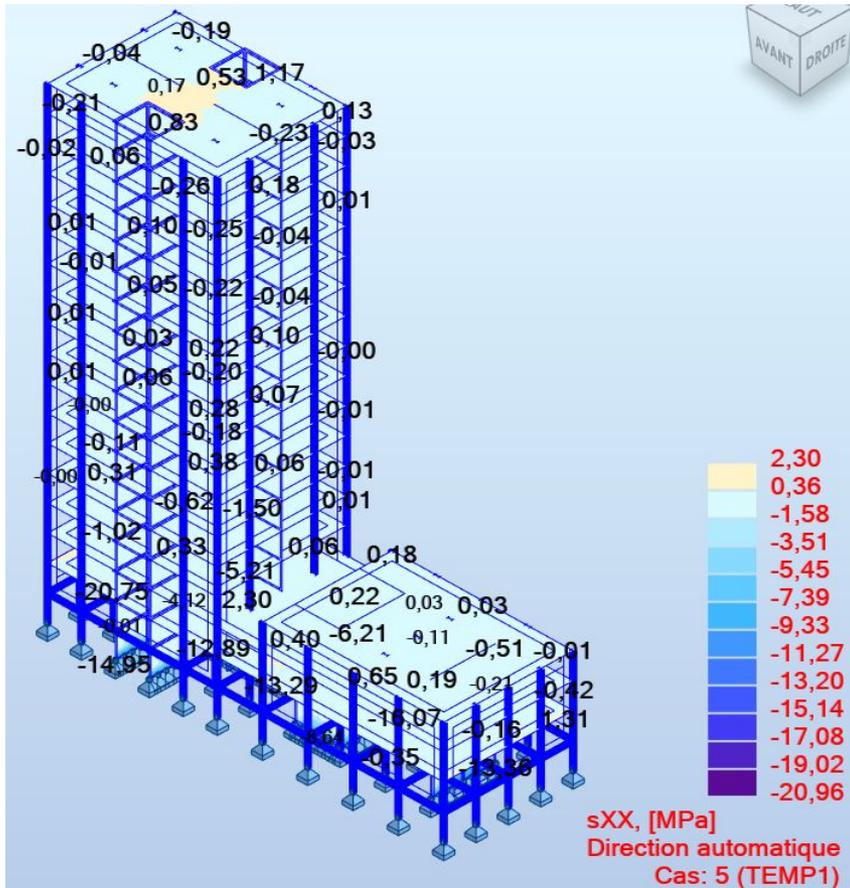
x



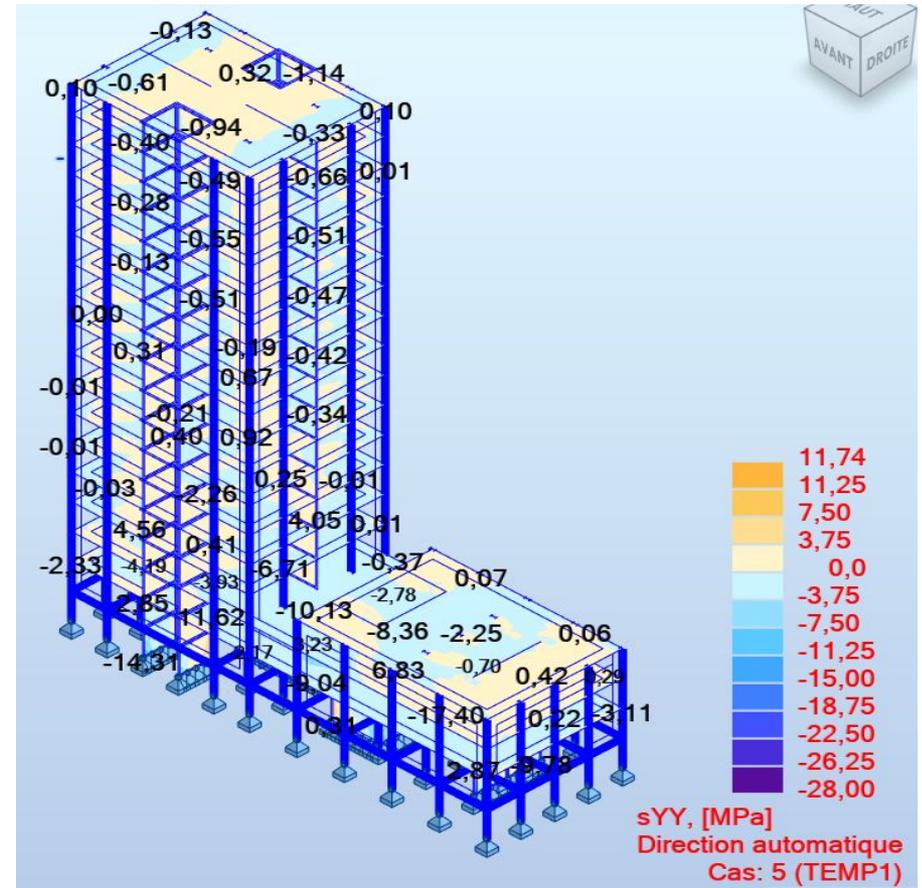
y

# III) Modélisation du vent et de la température sur une structure

-Différences de pression du bâtiment pour une température de 37,2°C



x

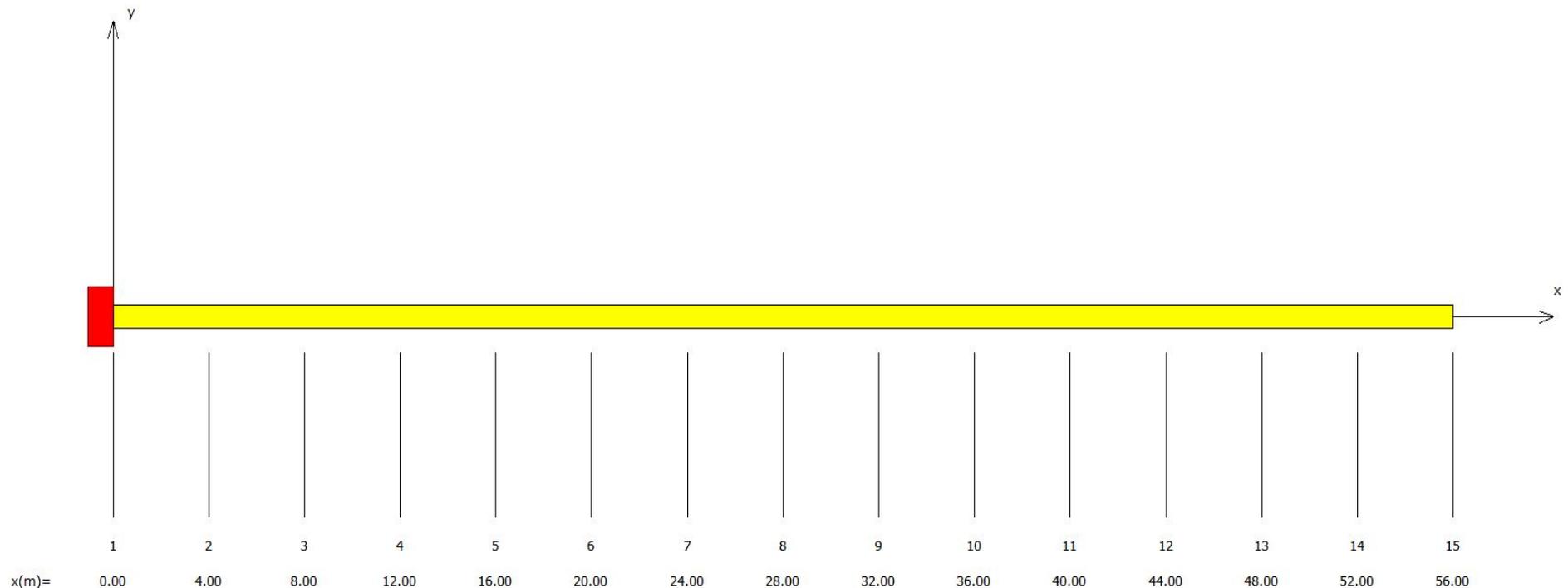


y

## IV) Modélisation du point de rupture d'une structure

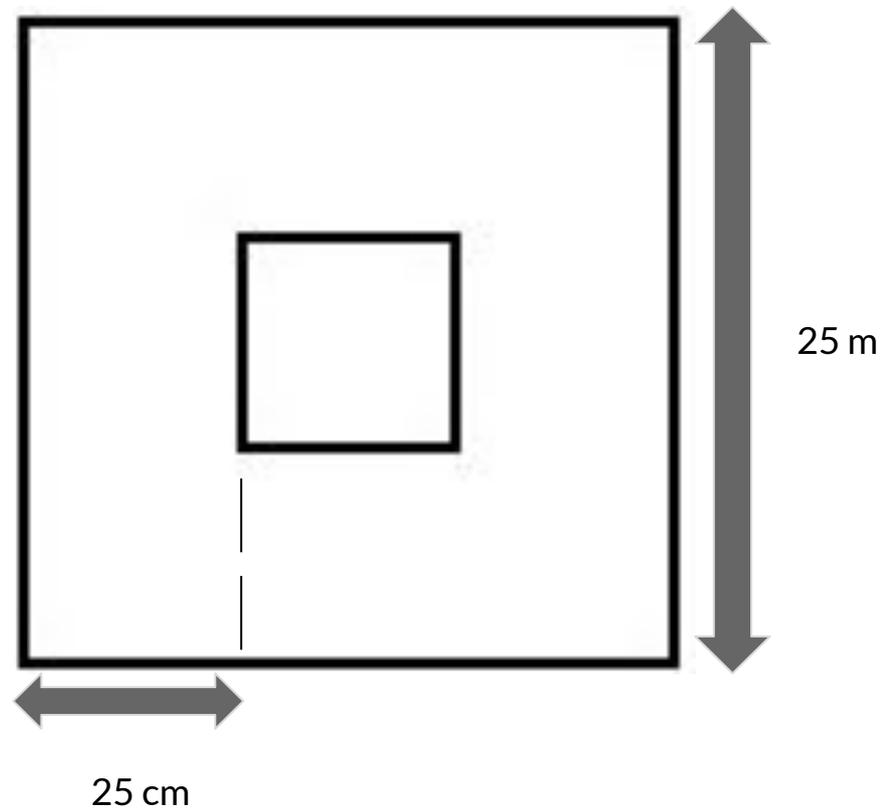
-Point de rupture : endroit où les contraintes subies par le bâtiment, sont supérieures à sa résistance structurelle, ici  $\sigma_{\max} = 1,5 \text{ MPa}$  (béton avec  $250\text{kg/m}^3$  de ciment). (1)(2)

-Modélisation de la tour sur RDM Le Mans, ici, la tour est à l'horizontale



## IV) Modélisation du point de rupture d'une structure

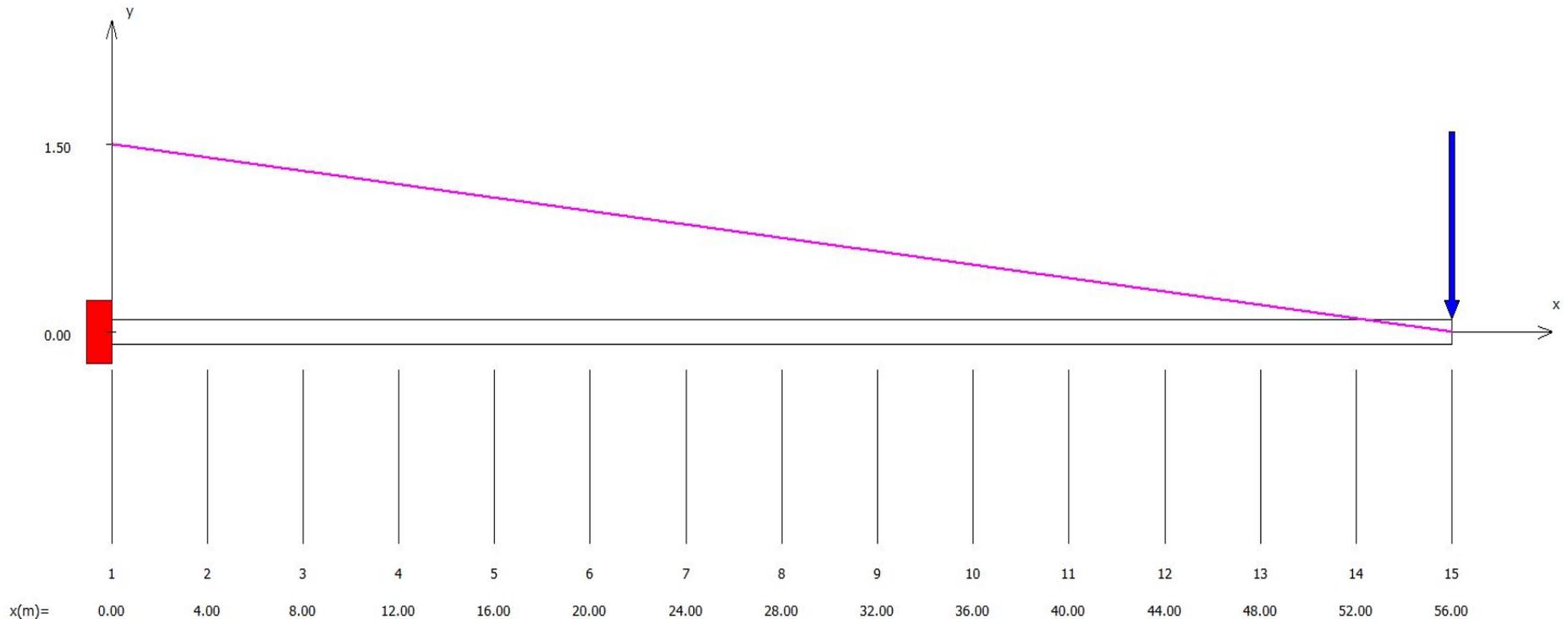
-Carré creux :



# IV) Modélisation du point de rupture d'une structure

-Bâtiment soumis à une force de 5,4 MN

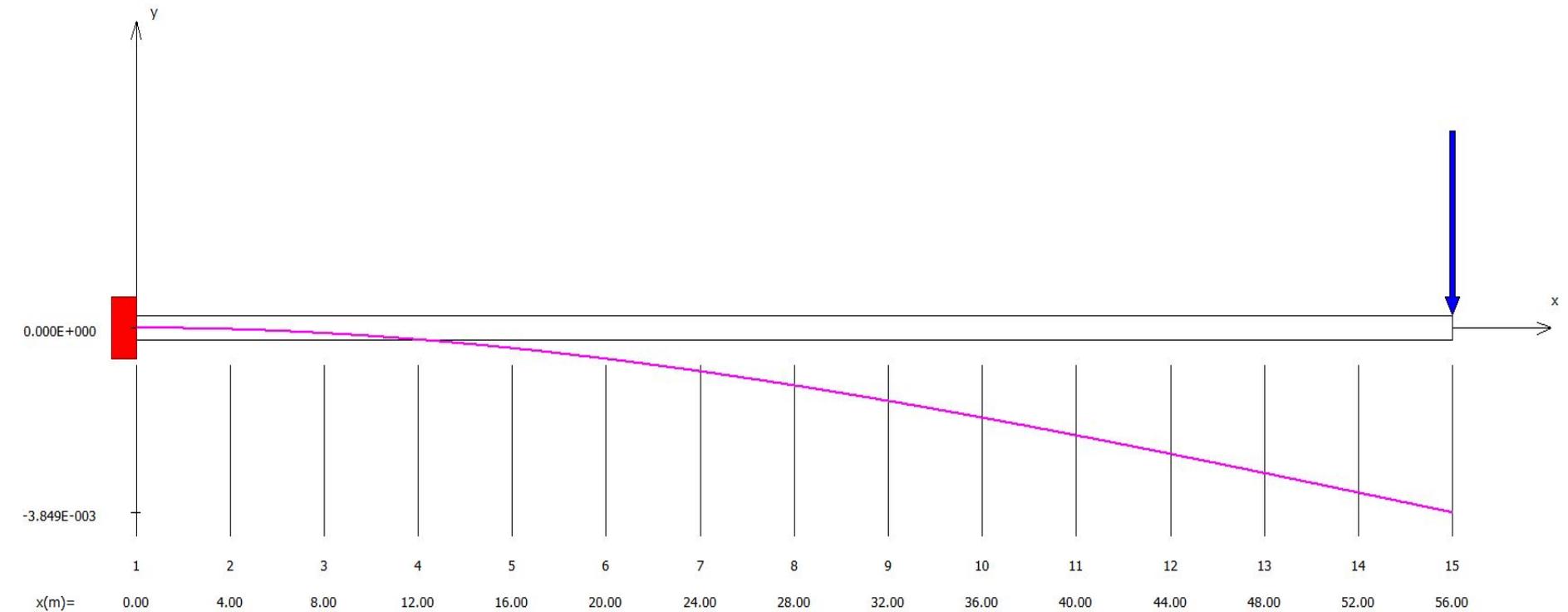
Contrainte normale : fibre supérieure [ MPa ]



# IV) Modélisation du point de rupture d'une structure

-Bâtiment soumis à une force de 5,4 MN

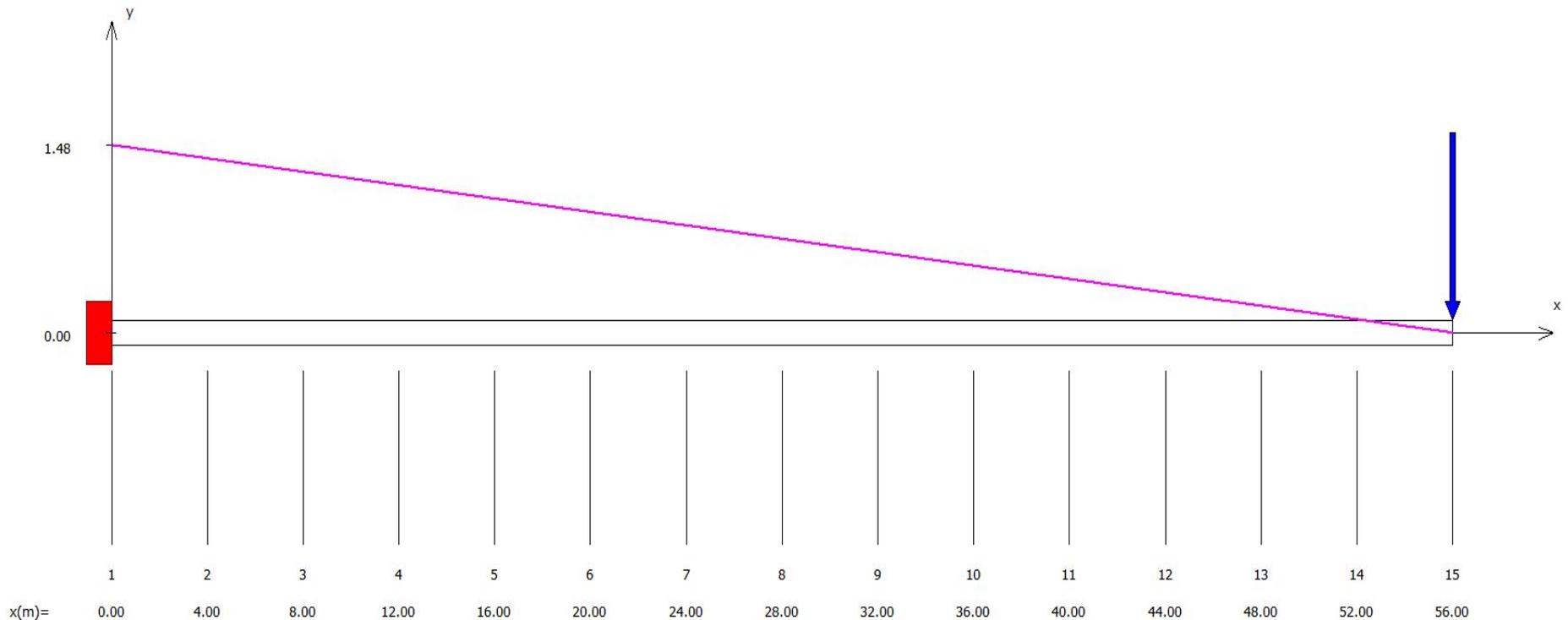
Flèche [ m ]



# IV) Modélisation du point de rupture d'une structure

-Bâtiment soumis à une force de 5,35 MN

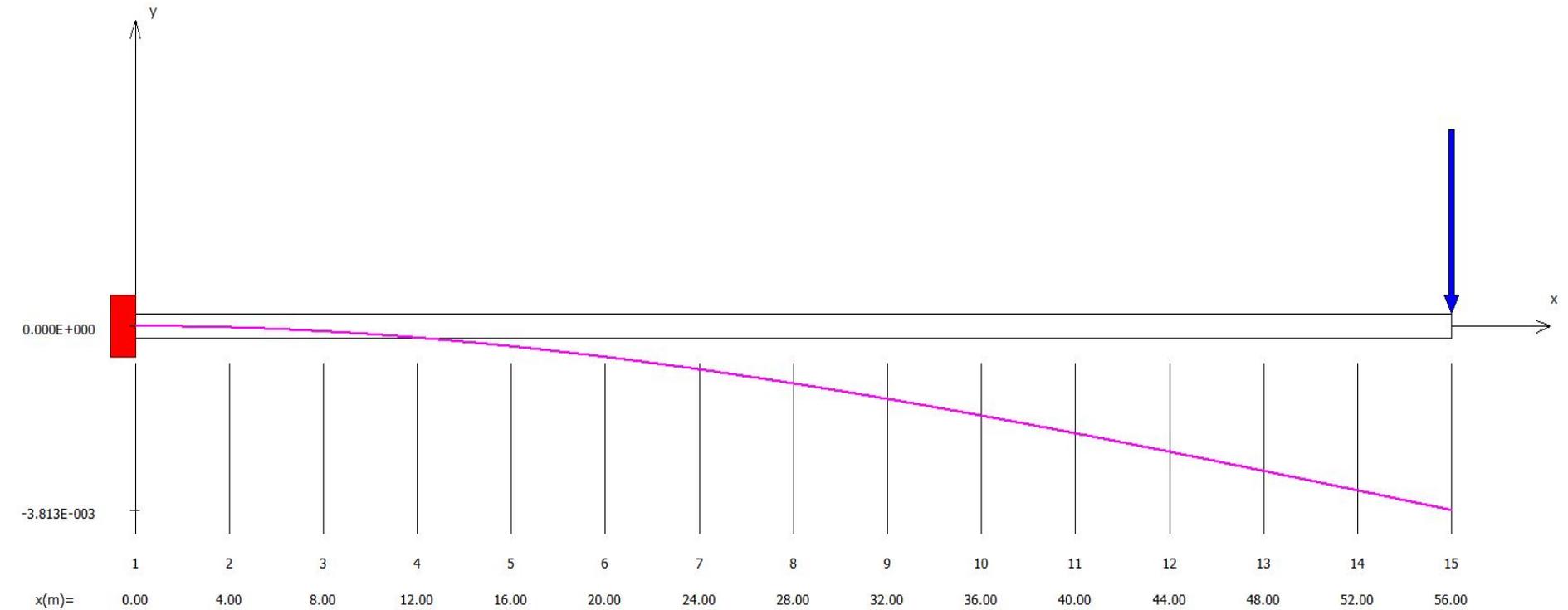
Contrainte normale : fibre supérieure [ MPa ]



# IV) Modélisation du point de rupture d'une structure

-Bâtiment soumis à une force de 5,35 MN

Flèche [ m ]





## IV) Modélisation du point de rupture d'une structure

-Comparaison avec le calcul :

Formule Force :  $F = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot S \cdot v^2$

Correspond à  $v = 87.8 \text{ m/s}$  soit  $316,2 \text{ km/h}$

-F : force appliquée au bâtiment

- $\rho$  : densité volumique du vent

-S : Surface sur laquelle s'applique la force



## V) Conclusion

-Bilan final :

Les vents ne sont pas pris en compte lors de la construction  
des bâtiments (surtout hors des côtes)

On va donc prendre les autres contraintes météorologiques en  
fonction, telle que la neige, la pluie et la température

# ANNEXE

-Contact ESTP



## Mohamad Achour

Enseignant Chercheur en ville intelligente et décarbonée -  
Coordonnateur pédagogique chez Ecole spéciale des  
Travaux publics, du Bâtiment et de l'Industrie ESTP PARIS



Ecole spéciale des Travaux  
publics, du Bâtiment et de...



Ecole centrale de Nantes

# ESTP

PARIS

L'ÉCOLE DES GRANDS PROJETS



## ANNEXE : entretien

### Questions :

- Réaction du béton avec la chaleur
- Réaction du béton avec le vent
- Différents types de béton utilisés pour 1 seul bâtiment

### Retours :

- La chaleur peut créer des fissures dans les pores du béton et donc le casser
- Pas de spéciales attentions au vent avant la construction de bâtiments (car pas trop d'effet)

-il existe 3 types de béton :

BHP : béton de haute qualité, utilisé pour les ouvrages d'art

Béton ordinaire : utilisé pour les maisons et bâtiments

Béton esthétique : pas très solide, utilisé pour faire des sols de plusieurs couleurs (ex : rouge et vert)

-réduction de la consommation de ciment car il y a beaucoup de CO2 émit en cassant la pierre

## ANNEXE : Fonction Python (objectif 1)

```
import matplotlib.pyplot as plt
```

```
def max(lignes):  
    max = lignes[0]  
    for k in lignes:  
        if k >= max :  
            max = k
```

```
    return max
```

```
def max_Nord_Est():  
    mesures=open('C:/Users/nicolas/Desktop/data.txt', 'r')  
    VNE=[]  
    for k in range(12):  
        mesures.readline(5)  
        vent=float(mesures.readline((5)))  
        VNE.append(vent)  
        mesures.readline()  
    mesures.close()  
    VNEmax=max(VNE)  
    return VNEmax
```

```
def max_Nord_Ouest():  
    mesures=open('C:/Users/nicolas/Desktop/data.txt', 'r')  
    VNO=[]  
    for k in range(12):  
        mesures.readline(12)  
        vent=float(mesures.readline(5))  
        VNO.append(vent)  
        mesures.readline()  
    mesures.close()  
    VNOmax=max(VNO)  
    return VNOmax
```

```
def max_Sud_Est():  
    mesures=open('C:/Users/nicolas/Desktop/data.txt', 'r')  
    VSE=[]  
    for k in range(12):  
        mesures.readline(20)  
        vent=float(mesures.readline(4))  
        VSE.append(vent)  
        mesures.readline()  
    mesures.close()  
    VSEmax= max(VSE)  
    return VSEmax
```

## ANNEXE : Fonction Python (objectif 1)

```
def max_Sud_Ouest():
    mesures=open('C:/Users/nicolas/Desktop/data.txt','r')
    VS0=[]
    for k in range(12):
        mesures.readline(26)
        vent=float(mesures.readline(5))
        VS0.append(vent)
        mesures.readline()
    mesures.close()
    VS0max=max(VS0)
    return VS0max
```

```
def max_Corse():
    mesures=open('C:/Users/nicolas/Desktop/data.txt','r')
    VCorse=[]
    for k in range(12):
        mesures.readline(33)
        vent=float(mesures.readline(5))
        VCorse.append(vent)
        mesures.readline()
    mesures.close()
    VCorsemax=max(VCorse)
    return VCorsemax
```

```
VNEmax=max_Nord_Est()
VNOmax=max_Nord_Ouest()
VSEmax=max_Sud_Est()
VS0max=max_Sud_Ouest()
VCorsemax=max_Corse()
```

```
def echelle_beaufort(vitesse_vent):
    if vitesse_vent < 1:
        return 0
    elif vitesse_vent < 6:
        return 1
    elif vitesse_vent < 12:
        return 2
    elif vitesse_vent < 20:
        return 3
    elif vitesse_vent < 29:
        return 4
    elif vitesse_vent < 39:
        return 5
    elif vitesse_vent < 50:
        return 6
    elif vitesse_vent < 62:
        return 7
    elif vitesse_vent < 75:
        return 8
    elif vitesse_vent < 89:
        return 9
    elif vitesse_vent < 103:
        return 10
    elif vitesse_vent < 118:
        return 11
    else:
        return 12
```



## ANNEXE : Affichage (objectif 1)

```
VNEB=echelle_beaufort(VNEmax)
VNOB=echelle_beaufort(VNOmax)
VSEB=echelle_beaufort(VSEmax)
VSOB=echelle_beaufort(VSOmax)
VCorse=echelle_beaufort(VCorsemax)

x=['Nord Est', 'Nord Ouest', 'Sud Est', 'Sud Ouest', 'Corse']
VMAX=[VNEmax, VNOmax, VSEmax, VSOmax, VCorsemax]
VB=[VNEB, VNOB, VSEB, VSOB, VCorse]
plt.grid()
plt.bar(x,VB,width = 0.35, color = 'red')
plt.axis()
plt.ylabel("$Échelle~de~Beaufort$")
plt.xlabel('Localisation')
plt.title("$V_{max}="+str(max(VMAX))+ "~km.h^{-1}$")
plt.show()
```



## ANNEXE : Dimensions modèle Robot Structural Analysis

-Tour principale : 16 \* 21 m<sup>2</sup>, hauteur : 57 m

-Bâtiment secondaire : 16 \* 28 m<sup>2</sup>, hauteur : 10 m



## ANNEXE : Calculs

Rappel formule :

$$F = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot S \cdot v^2$$

Avec :

$$-F = 5,4 \text{ MN}$$

$$-S = 56 \cdot 25 \text{ m}^2 = 1400 \text{ m}^2$$

$$-\rho = 1 \text{ kg/m}^3$$