

# STABILITE DES OUVRAGES

**Par Lionel LAFFIN et Eddy TECHER**  
**Ingénieurs Structures et Sécurité Incendie**  
**SOCOTEC Réunion**

**UN OUVRAGE,  
OU UN ELEMENT D'OUVRAGE,  
EST SOUMIS A DIFFERENTES  
ACTIONS EXTERIEURES**

**IL DOIT ETRE CONCU POUR ETRE  
**STABLE** ET **RESISTER** A CES  
ACTIONS**

# CHARGES VERTICALES DE PESANTEUR

Charges permanentes  
(poids propre des ouvrages ou matériaux les surchargeant)



NF P 06.001

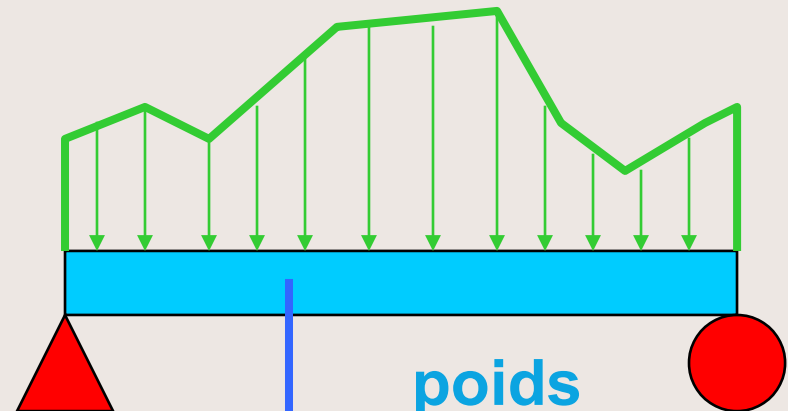
Charges climatiques de neige

Charges liées à l'exploitation des bâtiments (public, stockages, surcharges liées à l'entretien)



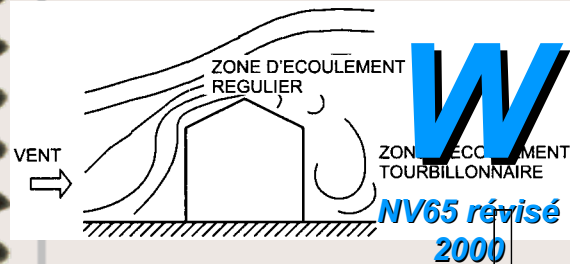
poids mort (pm/G)  
charges d'exploitation (Q)

neige (Sn)



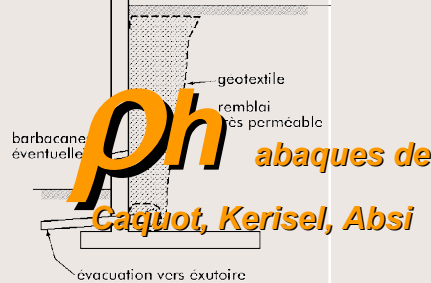
poids propre de la structure (pp/G)

# ACTIONS A COMPOSANTE HORIZONTALE ou VERTICALE ASCENDANTE



Pressions ou dépressions dues au vent

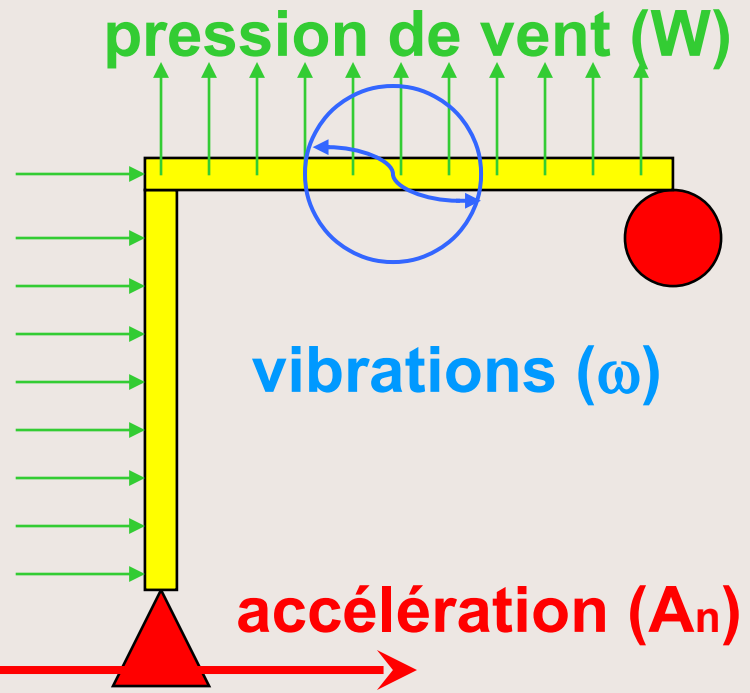
Pressions de terres, liquides ou de matières ensilées



Séisme : accélérations des masses se traduisant en efforts horizontaux

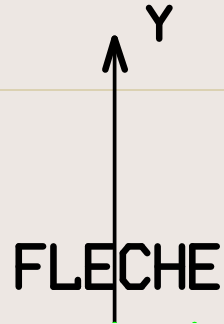


Vibrations et machines tournantes



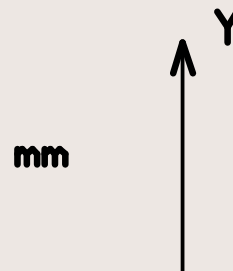
## RAPPEL RDM / poutre sur 2 appuis

FLECHE



- déformation

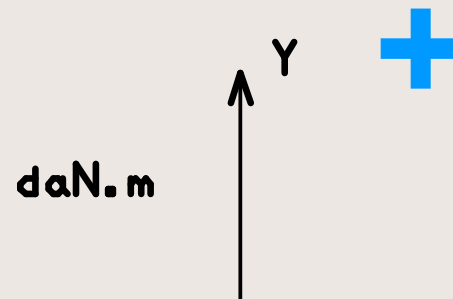
mm



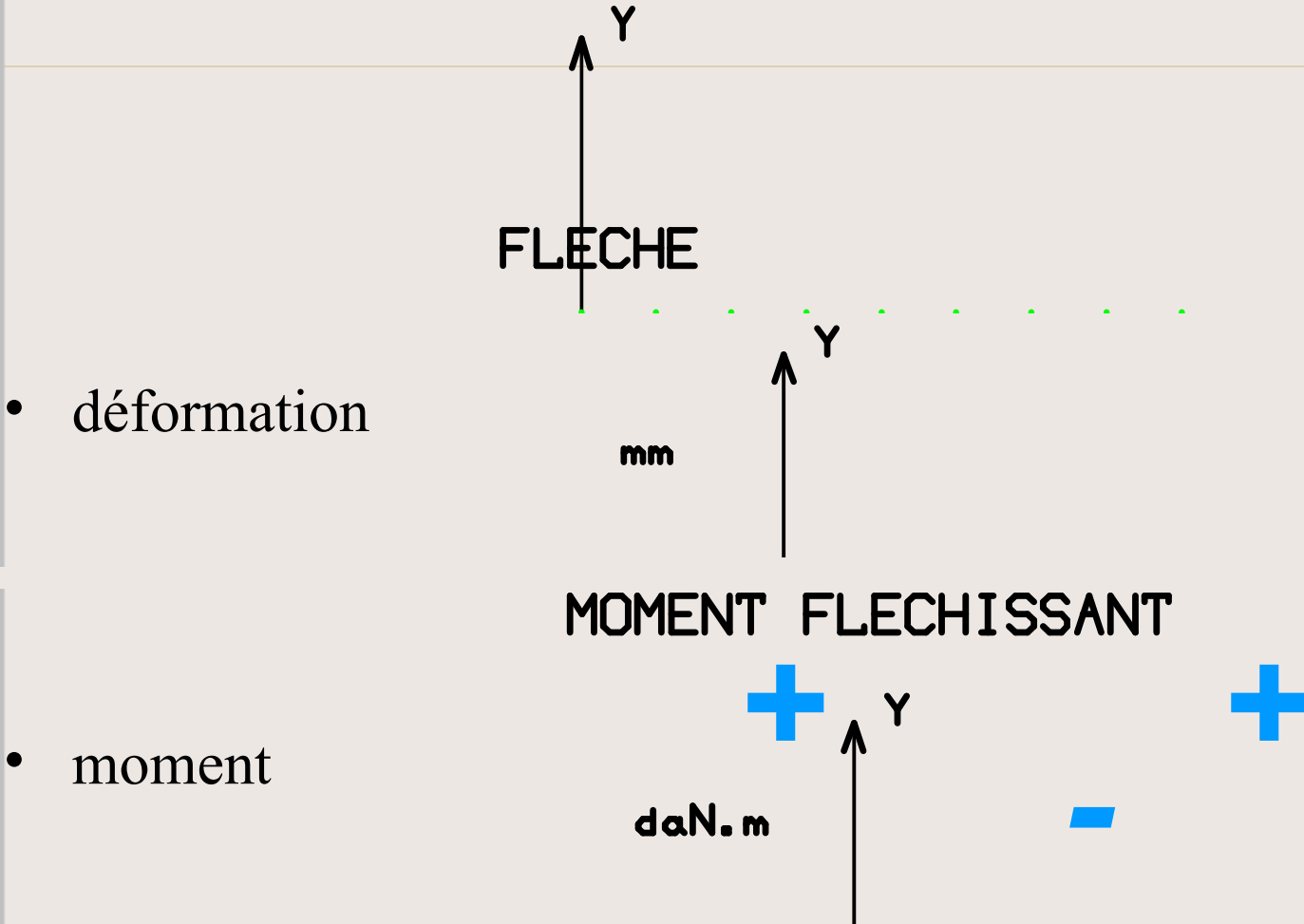
MOMENT FLECHISSANT

- moment

daN.m



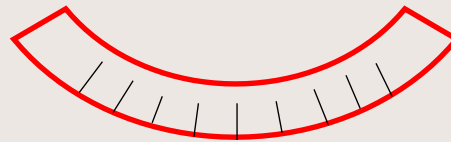
## RAPPEL RDM / poutre sur 3 appuis



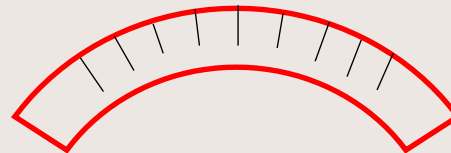
## BETON ARME / sections fissurées

Le béton est un matériau qui résiste bien en compression mais très mal en traction. C'est un matériau anisotrope

- Moment positif + = fibre inférieure tendue et fissurée



- Moment négatif - = fibre supérieure tendue et fissurée

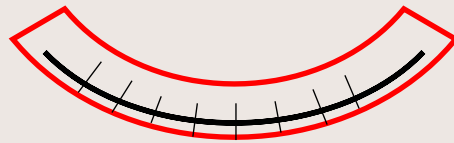


## BETON ARME / position des armatures

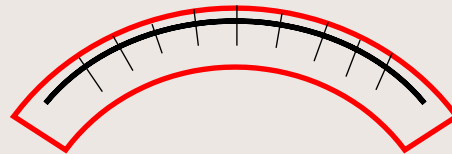
L'acier est un matériau qui résiste bien en compression et en traction. C'est un matériau isotrope.

Les armatures assurent la couture des fissures du béton.

- Fibre inférieure fissurée = acier en travée = lit inférieur



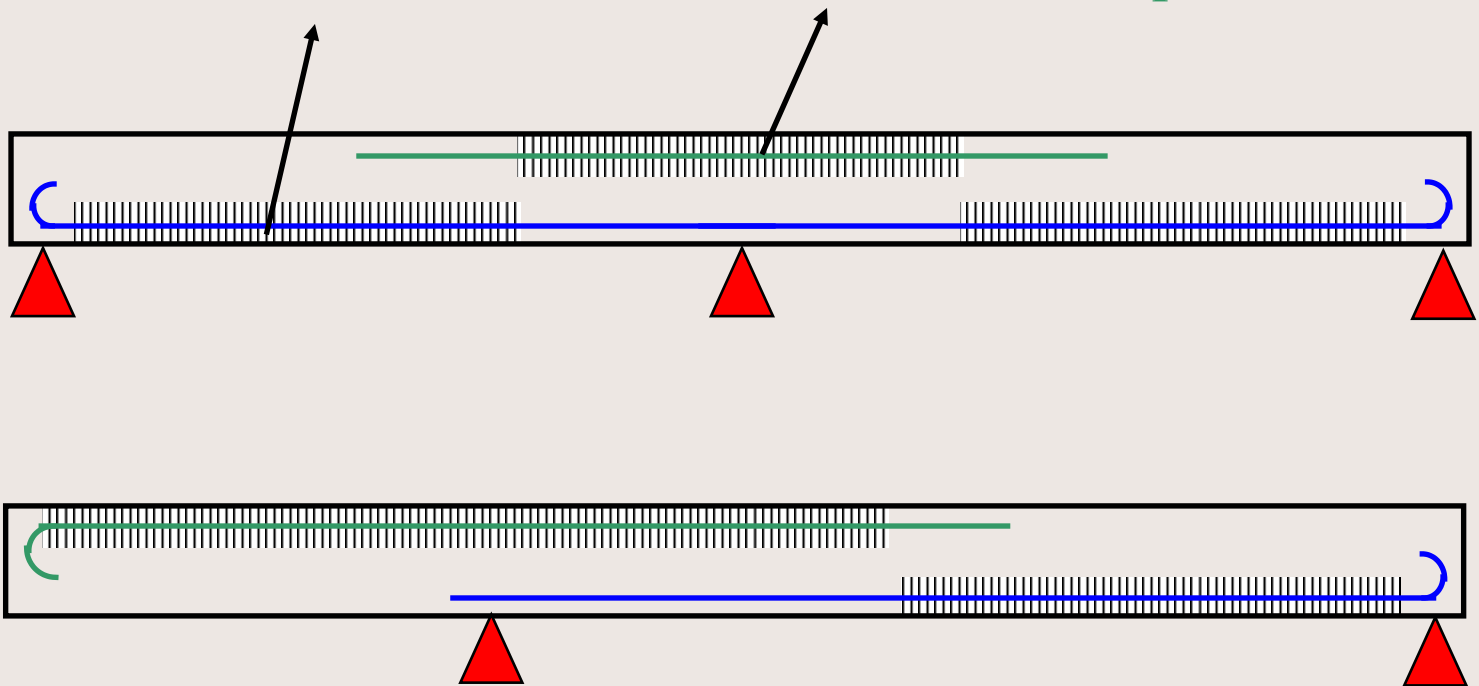
- Fibre supérieure fissurée = acier en chapeaux = lit supérieur



# BETON ARME

## ferrailage type d'une poutre sur 3 appuis et poutre avec console

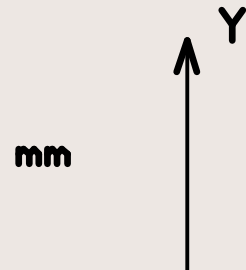
Armature en travée / Armatures en chapeaux



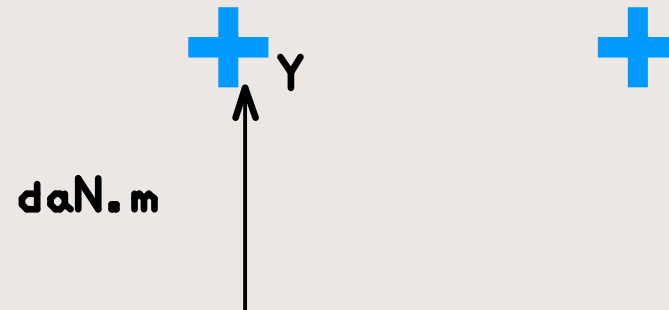
# RDM / Effet de la continuité / poutre discontinue

FLECHE

Rotule



MOMENT FLECHISSANT

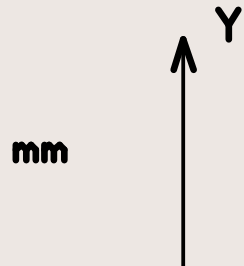


$$RA = RC = 0.50.pl ; RB = 1.00.pl$$

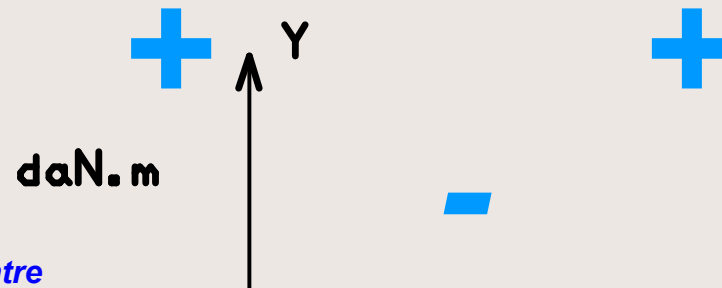
$$AN : l = 5.00 m ; p = 100 daN/ml$$

$$RA = RC = 250 daN ; RB = 500 daN \quad \text{on a } RA+RB+RC = 1000 daN$$

# RDM / Effet de la continuité / poutre continue FLECHE



## MOMENT FLECHISSANT



*Par une modélisation RDM, on démontre*

$$RA = RC = 0.325.pl ; RB = 1.25.pl$$

$$AN : l = 5.00 \text{ m} ; p = 100 \text{ daN/ml}$$

$$RA = RC = 162.5 \text{ daN} ; RB = 675 \text{ daN} \quad \text{on a } RA+RB+RC = 1000 \text{ daN}$$

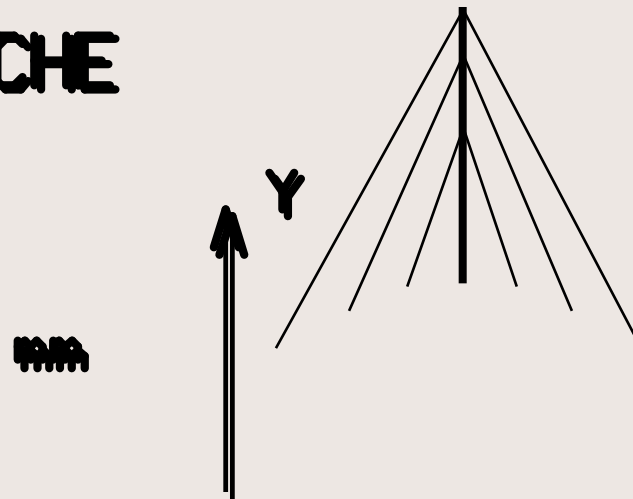
## RDM / Effet de la continuité

DANS LES DEUX CAS, LA SOMME DES RESULTANTES SUR APPUIS EST LA MÊME :  $RA + RB + RC = 1000 \text{ daN}$ .

PAR CONTRE L'APPUI CENTRAL EST SURCHARGE, ALORS QUE LES APPUIS DE RIVE SONT DECHARGES. **LES CHARGES SE REDISTRIBUENT.**

ON PEUT ASSIMILER L'EFFET DE LA CONTINUITÉ A CELUI QUE FERAIT UN PYLONE ET LES HAUBANS D'UN PONT.

**FLECHE**



## BETON ARME / Effet de la continuité

**POUR LA DESCENTE DE CHARGE D'UN OUVRAGE EN BETON ARME, ON APPLIQUE LES POURCENTAGES DE MAJORATION DE CONTINUITÉ DÉFINIS DANS LE BAEL 91.**

**ON ÉVALUE LES CHARGES SUR LES DIFFÉRENTES TRAVÉES ISOSTATIQUES**

**ON MAJORE ENSUITE CES CHARGES PAR UN COEFFICIENT DE**

















**1.15 OU 1.10**

**SUIVANT LA POSITION DE L'APPUI.**

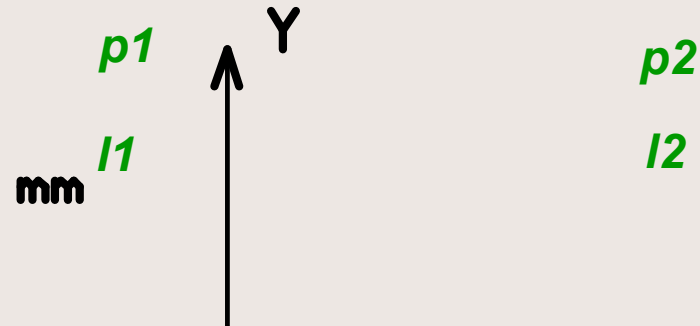
***Poutre sur 3 appuis = x 1.15 pour l'appui central***

***Poutre de 4 à n appuis = x 1.10 pour les appuis proches des rives***

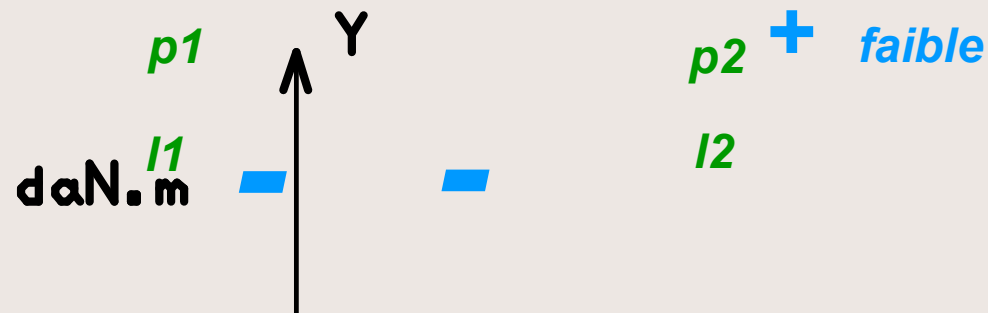
## BETON ARME / Coefficients de continuité

	Ra	Rb	Rc	Rd	.	Rn-2	Rn-1	Rn
Poutre sur 2 appuis	 x 1.00	 x 1.00						
Poutre sur 3 appuis	 x 1.00	 <b>x 1.15</b>	 x 1.00					
Poutre sur 4 appuis	 x 1.00	 <b>x 1.10</b>	 <b>x 1.10</b>	 x 1.00				
Poutre sur n appuis	 x 1.00	 <b>x 1.10</b>	 x 1.00	 x 1.00		 x 1.00	 <b>x 1.10</b>	 x 1.00

# RDM / Effet de porte-à-faux FLECHE



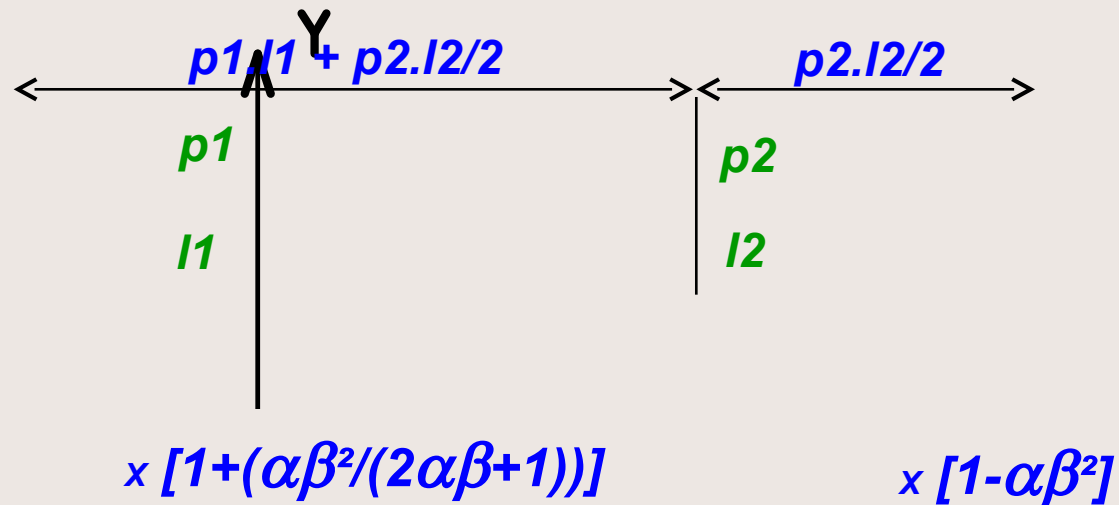
# MOMENT FLECHISSANT



## RDM / Effet de porte-à-faux

*Tout se passe comme si l'on avait des travées isostatiques pour la répartition des charges aux appuis.*

*On pondère ensuite par les coefficients de continuité*



En posant  $\alpha = p_1/p_2$  et  $\beta = l_1/l_2$

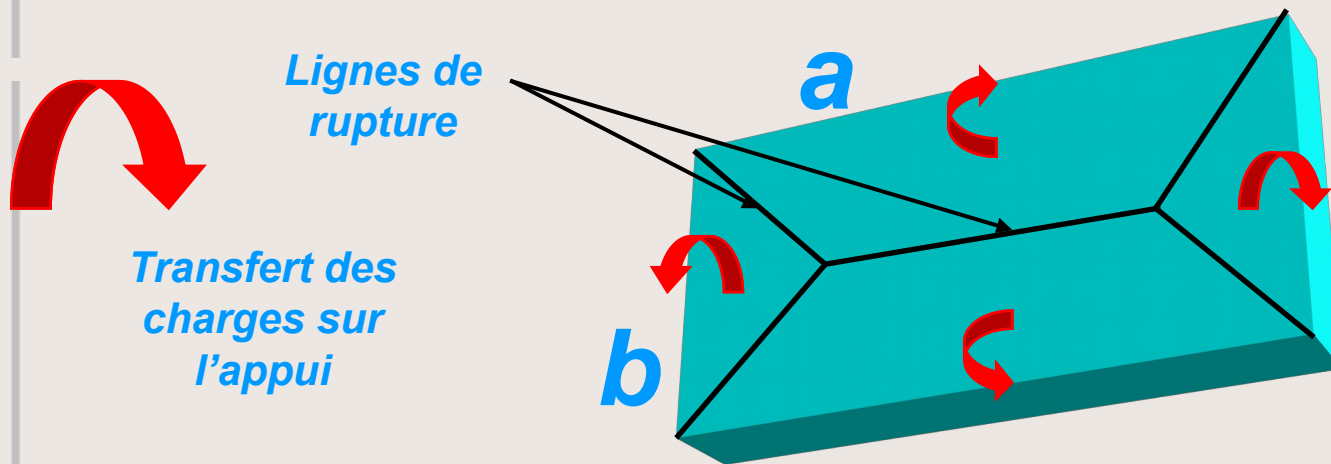
## DESCENTE DE CHARGE / Répartition des charges sur les planchers / lignes de rupture

*Considérons un plancher en béton armé de longueur  $a$  et de largeur  $b$  reposant sur 4 appuis linéiques sur son pourtour.*

*On le charge de façon surfacique jusqu'à la rupture.*

*Il se déforme, fissure et pli jusqu'à ce rompre le long des lignes de rupture. Ces lignes de rupture délimitent avec les appuis des surfaces de charges (triangulaires ou trapézoïdales).*

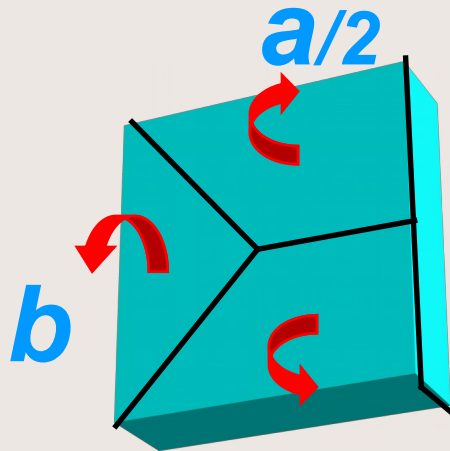
*Chaque surface est associée à un appui (voile ou poutre). On peut donc considérer que les charges unitaires s'appliquant sur cette surface transitent alors sur l'appui associé.*



## DESCENTE DE CHARGE / Répartition des charges sur les planchers / planchers sur 3 appuis

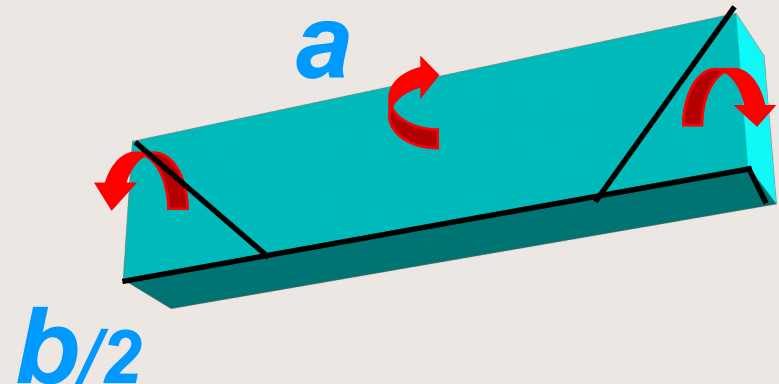
*Imaginons que l'on découpe la boîte en deux parties sur le côté a.*

*On obtient alors :*



*On procède de même en coupant la boîte par le côté b*

*On obtient alors :*

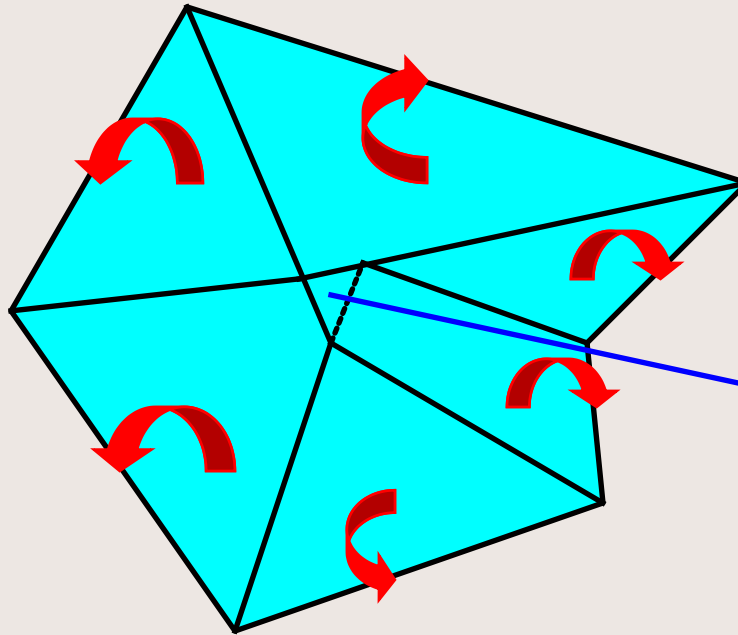


# DESCENTE DE CHARGE / Répartition des charges sur un plancher de forme quelconque

*La règle à retenir est la suivante :*

**On trace les bissectrices des angles.**

**On rejoint les sommets des triangles par une ligne de rupture.**



**Aucune surface  
ne peut reposer  
dans le vide,  
elle doit obligatoirement  
être associée à un appuis**

## MATHEMATIQUES / Multiplications de dimensions

$$[kN] / [m^3] \times [m] = [kN] / [m^2]$$

$$[kN] / [m^3] \times [m^2] = [kN] / [m]$$

$$[kN] / [m^3] \times [m^3] = [kN]$$

*On doit toujours veiller à ce que les unités soient homogènes*

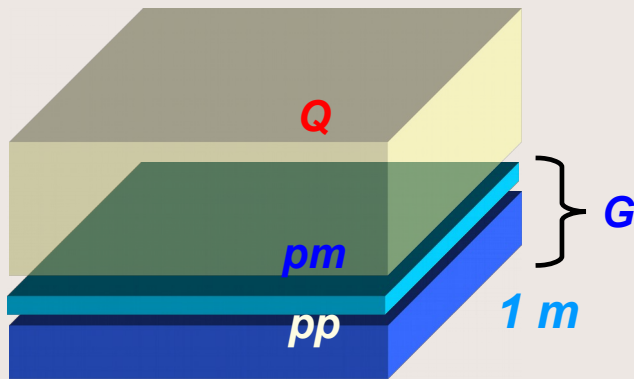
# DESCENTE DE CHARGE / Fiches d'Actions Unitaires / **PLANCHERS** / f.a.u exprimée en kN/m<sup>2</sup>

*La règle à retenir est la suivante :*

On considère une tranche de plancher de 1 m x 1 m. On liste les actions s'exerçant sur cette surface unitaire.

On ajoute aux **charges permanentes de poids propre** du plancher notées **pp**, des **charges permanentes de poids mort** (carrelage, revêtement de sol souple, cloisons, etc.) notées **pm** et des **charges d'exploitation surfaciques** notée **Q**. La somme des charges permanentes **pp+pm** est notée **G**.

**Exemple : plancher ép 20 cm densité BA 25kN/m<sup>3</sup>, carrelage ép 7 cm densité 20 kN/m<sup>3</sup>, cloisons 1kN/m<sup>2</sup>, surcharges d'exploitation bureaux : 2.5kN/m<sup>2</sup>**



**pp plancher : 0.20 m x 25 kN/m<sup>3</sup> = 5.0 kN/m<sup>2</sup>**

**pm carrelage : 0.07 m x 20 kN/m<sup>3</sup> = 1.4 kN/m<sup>2</sup>**

**Pm cloisons : = 1.0 kN/m<sup>2</sup>**

**G total = 7.4 kN/m<sup>2</sup>**

**Q total = 2.5 kN/m<sup>2</sup>**

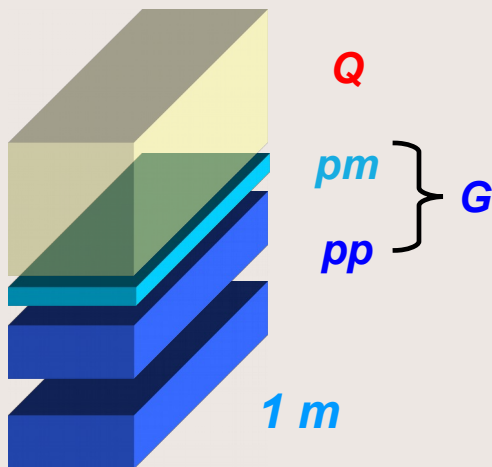
# DESCENTE DE CHARGE / Fiches d'Actions Unitaires / POUTRES / f.a.u exprimée en kN/ml

On considère une tranche de poutre de 1 ml et *de largeur 30 cm.*

On liste les actions s'exerçant sur cette surface unitaire.

On ajoute aux **charges permanentes de poids propre** de la poutre notées **pp**, des **charges permanentes de poids mort** (carrelage, revêtement de sol souple, cloisons, etc.) notées **pm** et des **charges d'exploitation surfaciques** notée **Q**. La somme des charges permanentes **pp+pm** est notée **G**.

**Exemple : largeur de poutre 30 cm, retombée de poutre 45 cm et plancher ép 20 cm densité BA 25kN/m<sup>3</sup>, carrelage ép 7 cm densité 20 kN/m<sup>3</sup>, cloisons 1kN/m<sup>2</sup>, surcharges d'exploitation bureaux : 2.5kN/m<sup>2</sup>**



**pp retombée :  $0.30 \text{ m} \times 0.45 \text{ m} \times 25 \text{ kN/m}^3 = 3.38 \text{ kN/ml}$**

**pp plancher :  $0.30 \text{ m} \times 0.20 \text{ m} \times 25 \text{ kN/m}^3 = 1.50 \text{ kN/ml}$**

**pm carrelage :  $0.30 \text{ m} \times 0.07 \text{ m} \times 20 \text{ kN/m}^3 = 0.28 \text{ kN/ml}$**

**pm cloisons :  $0.20 \text{ m} \times 1.0 \text{ kN/m}^2 = 0.20 \text{ kN/ml}$**

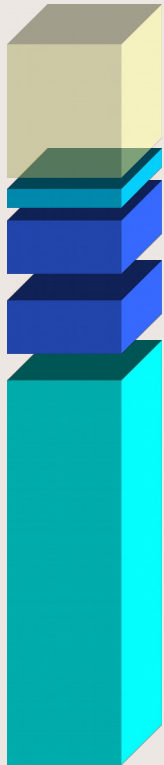
**G total = 5.36 kN/ml**

**surcharges Q :  $0.20 \text{ m} \times 2.5 \text{ kN/m}^2 = 0.50 \text{ kN/ml}$**

**Q total = 0.50 kN/ml**

## DESCENTE DE CHARGE / Fiches d'Actions Unitaires / **POTEAU** / f.a.u exprimée en kN

Exemple : Dimension du poteau 30 cm x 30 cm, hauteur libre du poteau 2.20 m, largeur de poutre 30 cm, retombée de poutre 45 cm et plancher ép 20 cm densité BA 25kN/m<sup>3</sup>, carrelage ép 7 cm densité 20 kN/m<sup>3</sup>, cloisons 1kN/m<sup>2</sup>, surcharges d'exploitation bureaux : 2.5kN/m<sup>2</sup>



pp hauteur libre de poteau :  $0.30 \text{ m} \times 0.30 \text{ m} \times 2.20 \text{ m} \times 25 \text{ kN/m}^3 = 4.95 \text{ kN}$

pp retombée :  $0.30 \text{ m} \times 0.30 \text{ m} \times 0.45 \text{ m} \times 25 \text{ kN/m}^3 = 1.01 \text{ kN}$

pp plancher :  $0.30 \text{ m} \times 0.30 \text{ m} \times 0.20 \text{ m} \times 25 \text{ kN/m}^3 = 0.45 \text{ kN}$

pm carrelage :  $0.30 \text{ m} \times 0.30 \text{ m} \times 0.07 \text{ m} \times 20 \text{ kN/m}^3 = 0.13 \text{ kN}$

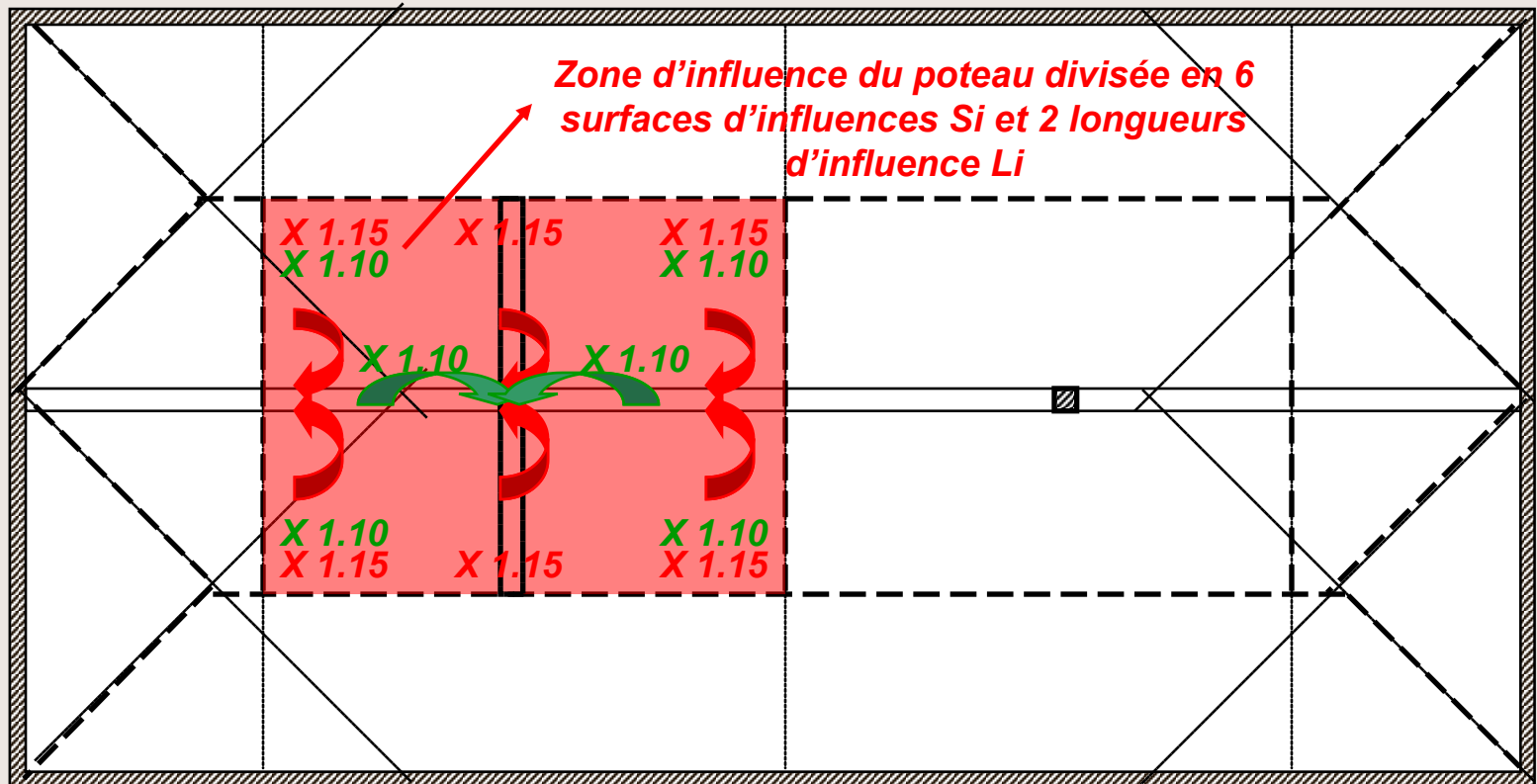
pm cloisons :  $0.30 \text{ m} \times 0.30 \text{ m} \times 1.0 \text{ kN/m}^2 = \underline{0.09 \text{ kN}}$

**G total = 6.63 kN**

surcharges Q :  $0.30 \text{ m} \times 0.30 \text{ m} \times 2.5 \text{ kN/m}^2 = 0.23 \text{ kN}$

**Q total = 0.23 kN**

# DESCENTE DE CHARGE / Etude d'un cas lignes de rupture / répartition des charges / coefficients de continuité



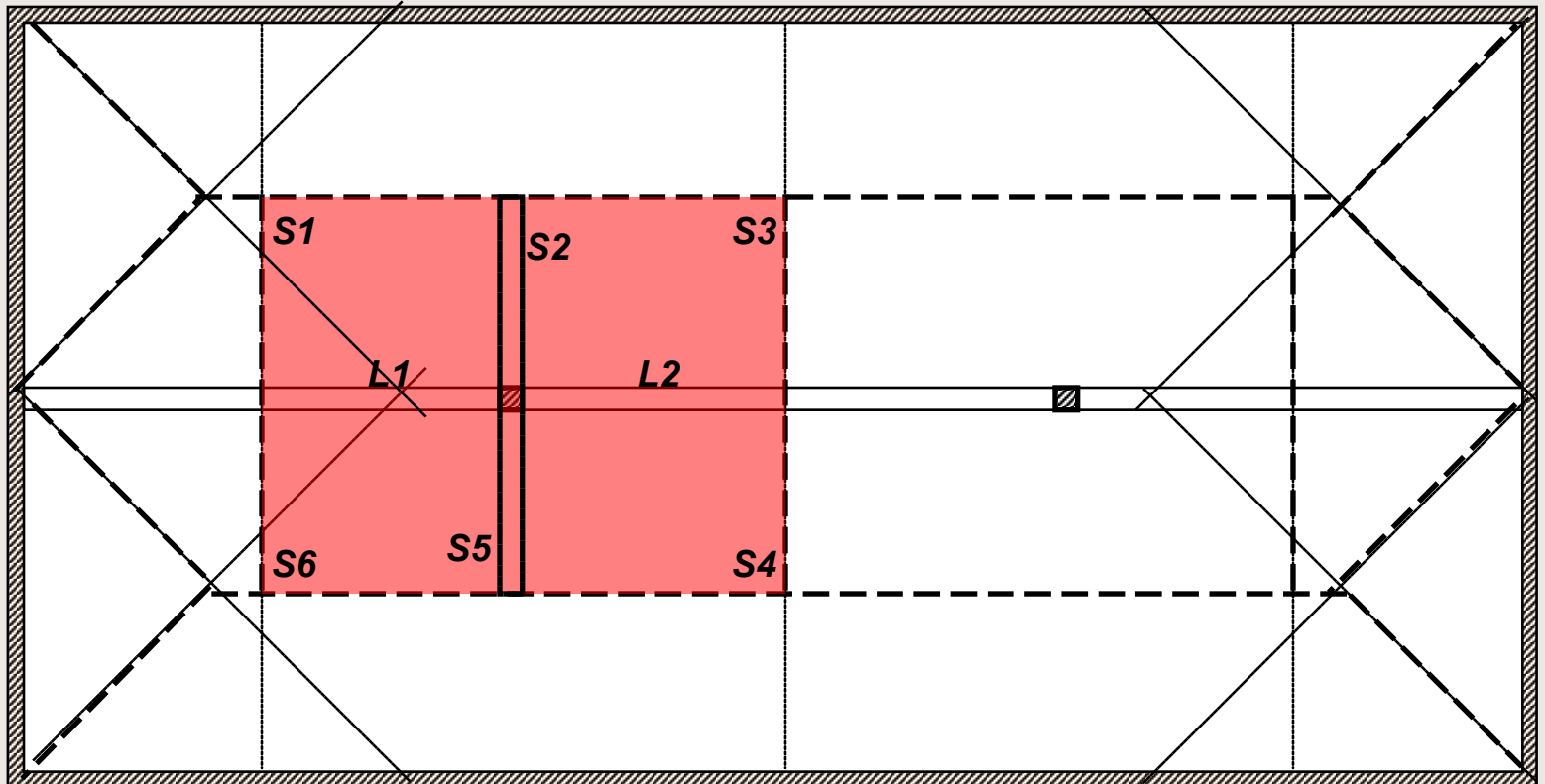
**1er transfert des charges de  
plancher**



**2ème transfert des charges  
de poutre**

# DESCENTE DE CHARGE / Etude d'un cas

## Surfaces d'influence $S_i$ et Longueurs d'influence $L_i$



## DESCENTE DE CHARGE / Estimation de la descente de charge sur le poteau

*Si x coefficients de continuité x f.a.u plancher = DDC*

$$\begin{array}{ccccccc} \uparrow & & \uparrow & & \uparrow & & \uparrow \\ [m^2] & \times & [\text{sans unité}] & \times & [kN/m^2] & = & [kN] \end{array}$$

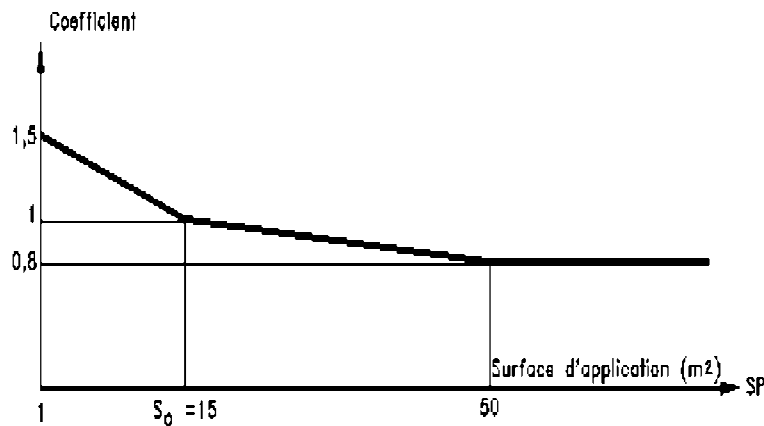
*Li x coefficient de continuité x f.a.u poutre = DDC*

$$\begin{array}{ccccccc} \nwarrow & & \uparrow & & \uparrow & & \uparrow \\ [ml] & \times & [\text{sans unité}] & \times & [kN/ml] & = & [kN] \end{array}$$

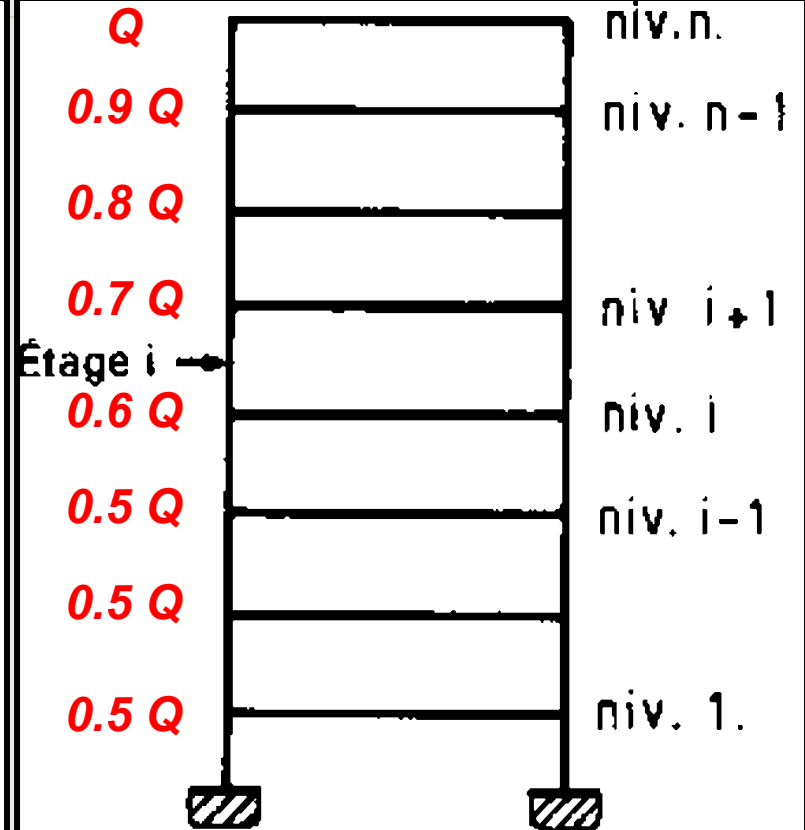
$$\begin{aligned} DDC \text{ poteau} = & \sum ( Si \times coef \ i \times coef \ j \times fau \ i ) \\ & + \sum ( Lj \times coef \ j \times fau \ j ) \end{aligned}$$

# DESCENTE DE CHARGE / Possibilité de dégression des charges d'exploitation / NF P 06.001

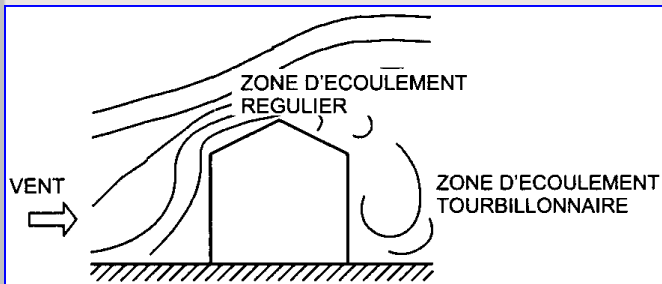
*Les dégressions ne s'applique que sur les charges variables*



*Les dégressions horizontales des charges ne se cumulent jamais avec les dégressions verticales*



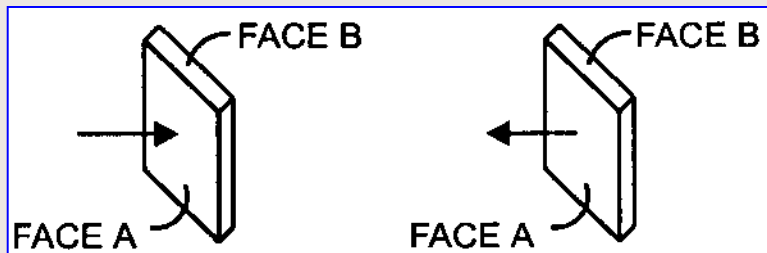
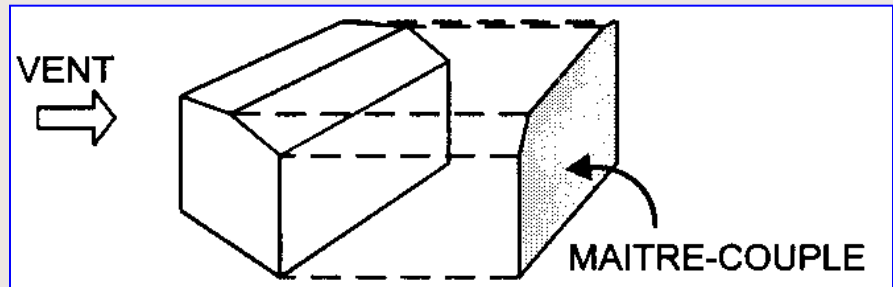
# LE VENT



Le Vent est un déplacement de masse d'air.

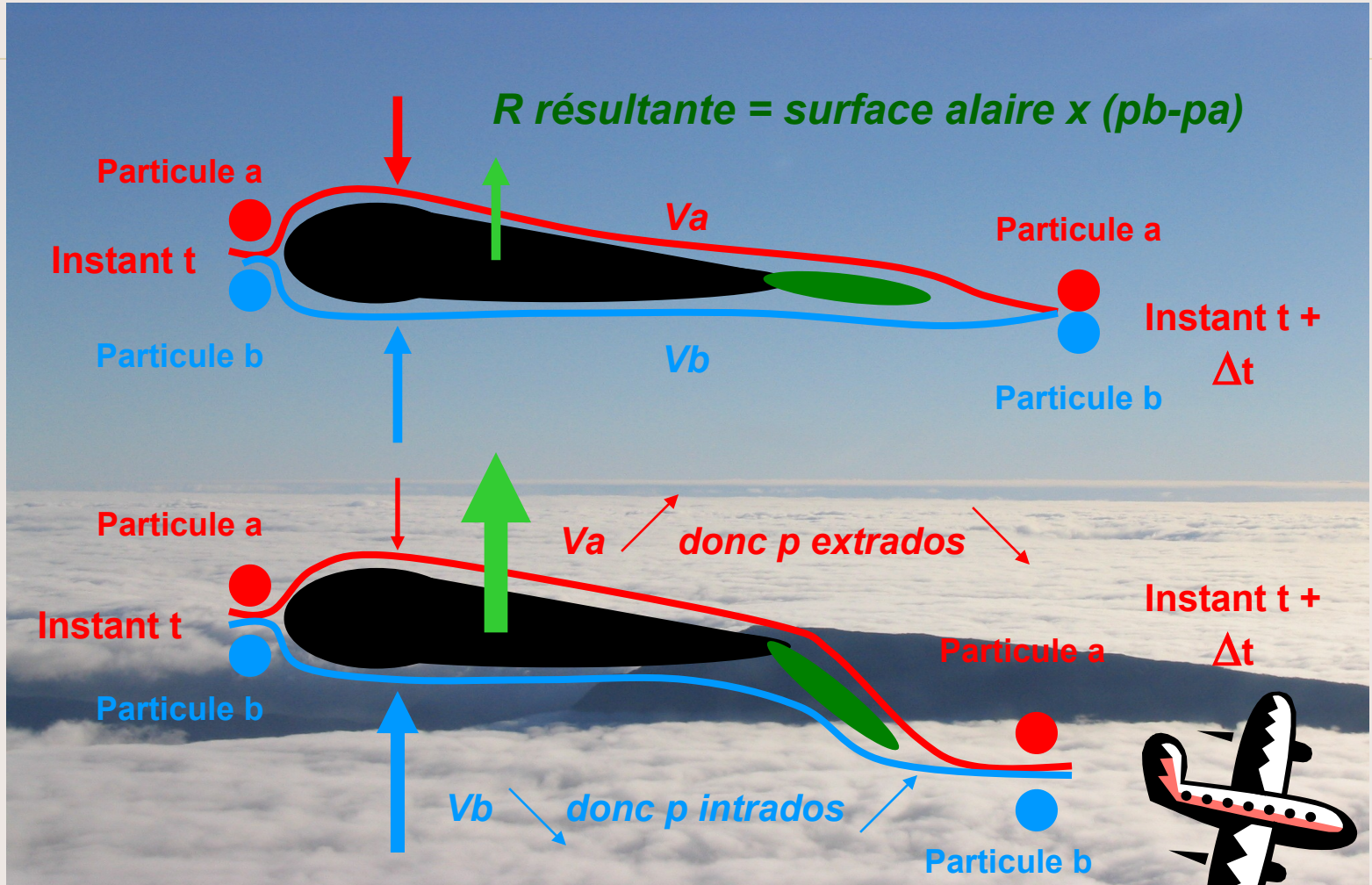
L'écoulement de la masse d'air est perturbé par le bâtiment

La projection de la surface de « prise au vent » s'appelle le maître-couple



La face Au Vent subît des efforts de pression / la face Sous Le Vent subît des efforts de dépression

# ANALOGIE DE L'AILE D'AVION



# Application du Théorème de BERNOUILLI pour évaluer la pression de vent

$$\rho h + P + \rho V^2 / 2g = \text{Cste}$$

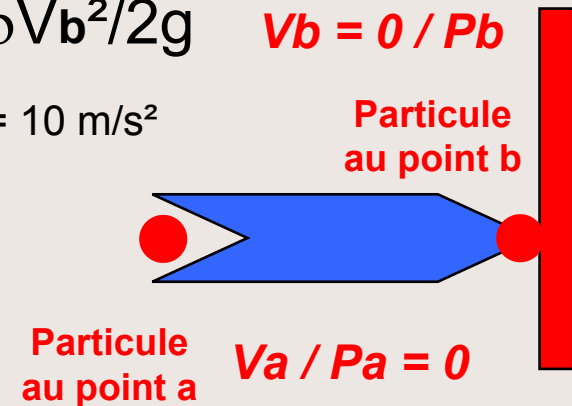
d'où

$$\rho h_a + P_a + \rho V_a^2 / 2g = \rho h_b + P_b + \rho V_b^2 / 2g \quad V_b = 0 / P_b$$

On considère  $h_a = h_b$  ;  $\rho = 1.225 \text{ kg/m}^3$  ;  $g = 10 \text{ m/s}^2$   
donc on peut écrire

$$P_a + \rho V_a^2 / 2g = P_b + \rho V_b^2 / 2g$$

$$P_b = \rho \cdot [(V_a^2 - V_b^2) / 2g] + P_a$$



$P_a$  est nulle dans le fluide et  $V_b$  est nulle au point de contact donc

$$P_b = 1.225 \cdot V_a^2 / 20$$

$$P = V^2 / 16.3 \text{ avec } P \text{ en daN/m}^2 \text{ et } V \text{ en m/s}$$

## NV 65 révisé 2000 / situation de la Réunion

La Réunion est située en **zone 5** :

**Vent Normal** (utilisé pour vérifier les déformations) :

vitesse : 160 km/h / **pression dynamique de base : 120 daN/m<sup>2</sup>**

**Vent Extrême** (utilisé pour vérifier les contraintes):

vitesse : 210 km/h / **pression dynamique de base : 210 daN/m<sup>2</sup>**

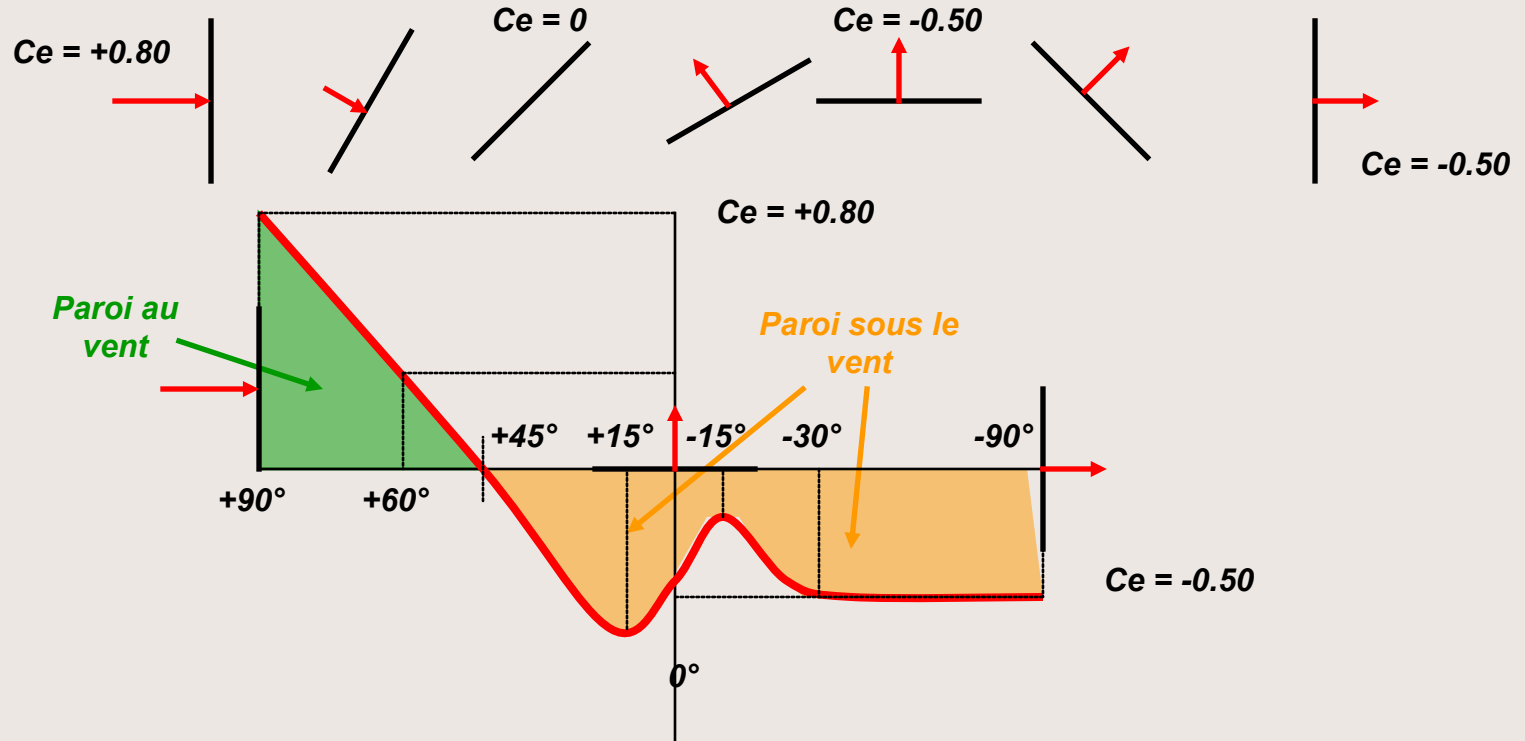
La Réunion est considéré comme **en site exposé** :

Les pressions dynamiques de base sont à **multipliée par 1.20**.

Ce coefficient de site est noté **ks**.

## NV 65 révisé 2000 / Coefficient Ce

Suivant l'orientation de la surface par rapport à l'écoulement du vent, le coefficient extérieur  $C_e$  varie.



## NV 65 révisé 2000 / Coefficient $C_i$

Le coefficient  $C_i$  est lié à une surpression ou une dépression  
à l'intérieur du local

On envisage alors un cas avec  $C_i = + 0.30$  et un cas avec  $C_i = - 0.30$ .

Au global, la pression sur la paroi vaut :

$$P = \text{pression dynamique de base} \times 1.20 \times (C_e - C_i)$$

Par exemple :

paroi au vent (+90°) / dépression intérieure / vent extrême

$$C_e - C_i = +0.80 - (-0.30) = +1.10$$

$$P = 210 \text{ daN/m}^2 \times 1.20 \times 1.10 = 277.2 \text{ daN/m}^2$$

## Poussée des terres, liquides et matières ensilées

La pression sur la paroi est fonction de la hauteur du matériaux ( $hz$ ), sa densité ( $\rho$ ), un coefficient  $K_a$  fonction de l'angle de frottement interne ( $\phi$ )

$$K_a = \tan^2(\pi/4 - \phi/2)$$

$$P = \rho \cdot hz \cdot K_a$$

Par exemple :

Poussée dans un coffrage / hauteur 7 m / densité béton fluide 2.3 T/m<sup>3</sup> /  
angle de frottement interne 10°

$$P = 2.30 \times 7.00 \times \tan^2(\pi/4 - \phi/2) = 11.35 \text{ T/m}^2$$

