APPROCHE CINÉMATIQUE

2013-2014

Denis Garnier * Anne-Sophie Colas ** , Jean-Claude Morel ***

* Laboratoire Navier, ENPC. email : denis.garnier@enpc.fr

** IFSTTAR. email : Anne-Sophie.Colas@ifsttar.fr

*** DGCB, ENTPE. email : jeanclaude.morel@entpe.fr

Plan du cours

20/09 **Introduction au raisonnement du calcul à la rupture et analyse limite :** Charge extrême et charge limite d'une structure réticulée

Amphi : 1h30 ; PC : 1h30

27/09 **Théorie du calcul à la rupture : approche statique par l'intérieur.**

Amphi : 1h30 ; PC : 1h30

04/10 **Travaux dirigés : approche statique**

PC : 3h

11/10 **Approche cinématique du calcul à la rupture. Fonctions "π".**

Amphi : 1h30 ; PC : 1h30

18/10 **Travaux dirigés : approche cinématique**

PC : 3h

25/10 **Poutres en flexion**

Amphi : 1h30 ; PC : 1h30

8/11 **Modélisation mixte (1h) ; TP TALREN (2h)**

15/11 **Travaux dirigés : poutres en flexion**

PC : 3h

22/12 **Contrôle des connaissances**

CALCUL À LA RUPTURE

$\mathcal{K} = \{$chargements potentiellement supportables$\} \quad \subset \quad \mathcal{R}^n$

CALCUL À LA RUPTURE

$\mathcal{K} = \{\text{chargements potentiellement supportables}\} \quad \subset \quad \mathcal{R}^n$

$$\boxed{\underline{Q} \;\in\; \mathcal{K}}$$

CALCUL À LA RUPTURE

$\mathcal{K} = \{\text{chargements potentiellement supportables}\} \quad \subset \quad \mathcal{R}^n$

$$\boxed{\underline{Q} \ \in \ \mathcal{K}} \quad \Longleftrightarrow \quad \boxed{\begin{array}{c} \exists \underline{\underline{\sigma}} \text{ S.A. avec } \underline{Q} \\ \text{t.q.} \\ \forall \underline{x} \quad \underline{\underline{\sigma}}(\underline{x}) \in \mathsf{G}(\underline{x}) \end{array}} \qquad \begin{array}{c} \text{(a)} \\ \\ \text{(b)} \end{array}$$

CALCUL À LA RUPTURE

$\mathcal{K} = \{$chargements potentiellement supportables$\} \quad \subset \quad \mathcal{R}^n$

$$\boxed{\underline{Q} \;\in\; \mathcal{K}} \quad \Longleftrightarrow \quad \boxed{\begin{array}{c} \exists \underline{\underline{\sigma}} \text{ S.A. avec } \underline{Q} \\ \text{t.q.} \\ \forall \underline{x} \quad \underline{\underline{\sigma}}(\underline{x}) \in \mathsf{G}(\underline{x}) \end{array}} \qquad \begin{array}{c} \text{(a)} \\ \\ \text{(b)} \end{array}$$

(a) ÉQUILIBRE $\longrightarrow$ structure

(b) RÉSISTANCE $\longrightarrow$ matériau

- Objectif :

  Mettre en œuvre une méthode d’approche par l’extérieur du domaine $\mathcal{K}$

APPROCHE CINÉMATIQUE

- Objectif :

  Mettre en œuvre une méthode d'approche par l'extérieur du domaine $\mathcal{K}$

- Moyen :

  Principe des puissances virtuelles (P.P.V.)

$$\boxed{\underline{\underline{\sigma}} \quad \text{S.A. avec} \quad \underline{Q}} \qquad (1)$$

APPROCHE CINÉMATIQUE

- Objectif :

  Mettre en œuvre une méthode d'approche par l'extérieur du domaine $\mathcal{K}$

- Moyen :

  Principe des puissances virtuelles (P.P.V.)

$$\boxed{\underline{\underline{\sigma}} \quad \text{S.A. avec} \quad \underline{Q}} \qquad (1)$$

$$\Updownarrow$$

$$\boxed{\begin{array}{c} \underline{Q} \cdot \underline{\dot{q}} = \int_V \underline{\underline{\sigma}} : \underline{\underline{d}} \;\; dV + \int_\Sigma (\underline{\underline{\sigma}} \cdot \underline{n}) \cdot [\![\underline{v}]\!] \; dS \\ \forall \underline{v} \quad \text{C.A.} \end{array}} \qquad (2)$$

APPROCHE CINÉMATIQUE

- Objectif :

  Mettre en œuvre une méthode d'approche par l'extérieur du domaine $\mathcal{K}$

- Moyen :

  Principe des puissances virtuelles (P.P.V.)

$$\boxed{\underline{\underline{\sigma}} \quad \text{S.A. avec} \quad \underline{Q}} \qquad (1)$$

$$\Updownarrow$$

$$\boxed{\begin{array}{c} \underline{Q} \cdot \underline{\dot{q}} = \int_V \underline{\underline{\sigma}} : \underline{\underline{d}} \;\; dV + \int_\Sigma (\underline{\underline{\sigma}} \cdot \underline{n}) \cdot [\![\underline{v}]\!] \; dS \\ \forall \underline{v} \quad \text{C.A.} \end{array}} \qquad (2)$$

ÉQUILIBRE = [Ecriture (1)
ou bien
Ecriture (2)

PRINCIPE DE L'APPROCHE

$$\boxed{\underline{Q} \;\in\; \mathcal{K}}$$

PRINCIPE DE L'APPROCHE

$$\boxed{\underline{Q} \in \mathcal{K}}$$

$$\Updownarrow$$

$$\boxed{\begin{array}{l} \forall \ \underline{v} \text{ C.A.} \qquad \underline{Q} \cdot \underline{\dot{q}} = \int_V \underline{\underline{\sigma}} : \underline{\underline{d}} \ dV + \int_\Sigma (\underline{\underline{\sigma}} \cdot \underline{n}) \cdot [\![\underline{v}]\!] \ dS \qquad (1) \\ \forall \underline{x} \in V \quad \underline{\underline{\sigma}}(\underline{x}) \in G(\underline{x}) \qquad (2) \end{array}}$$

PRINCIPE DE L'APPROCHE

$$\boxed{\underline{Q} \in \mathcal{K}}$$

$$\Updownarrow$$

$\forall \; \underline{v}$ C.A. $\quad \underline{Q} \cdot \underline{\dot{q}} = \int_V \underline{\underline{\sigma}} : \underline{\underline{d}} \; dV + \int_\Sigma (\underline{\underline{\sigma}} \cdot \underline{n}) \cdot [\![\underline{v}]\!] \; dS \quad (1)$

$\forall \underline{x} \in V \quad \underline{\underline{\sigma}}(\underline{x}) \in G(\underline{x}) \quad (2)$

Définitions

- $\forall \underline{x} \in V \setminus \Sigma$

$$\pi(\underline{x}, \underline{\underline{d}}(\underline{x})) = \sup_{\underline{\underline{\sigma}}(\underline{x}) \in G(\underline{x})} \left\{ \underline{\underline{\sigma}}(\underline{x}) : \underline{\underline{d}}(\underline{x}) \right\}$$

PRINCIPE DE L'APPROCHE

$$\boxed{\underline{Q} \ \in \ \mathcal{K}}$$

$$\Updownarrow$$

$$\boxed{\begin{array}{l} \forall \ \underline{v} \ \text{C.A.} \qquad \underline{Q} \cdot \underline{\dot{q}} = \int_V \underline{\underline{\sigma}} : \underline{\underline{d}} \ \ dV + \int_\Sigma (\underline{\underline{\sigma}} \cdot \underline{n}) \cdot [\![\underline{v}]\!] \ dS \qquad (1) \\ \forall \underline{x} \ \in \ V \quad \ \underline{\underline{\sigma}}(\underline{x}) \ \in \ G(\underline{x}) \qquad (2) \end{array}}$$

Définitions

- $\forall \underline{x} \ \in \ V \setminus \Sigma$

$$\pi(\underline{x}, \underline{\underline{d}}(\underline{x})) = \sup_{\underline{\underline{\sigma}}(\underline{x}) \in G(\underline{x})} \left\{ \underline{\underline{\sigma}}(\underline{x}) : \underline{\underline{d}}(\underline{x}) \right\}$$

- $\forall \underline{x} \ \in \ \Sigma$

$$\pi(\underline{x}, \underline{n}(\underline{x}), [\![\underline{v}(\underline{x})]\!]) = \sup_{\underline{\underline{\sigma}}(\underline{x}) \in G(\underline{x})} \left\{ [\![\underline{v}(\underline{x})]\!] \cdot \underline{\underline{\sigma}}(\underline{x}) \cdot \underline{n}(\underline{x}) \right\}$$

PRINCIPE DE L'APPROCHE

(1) et (2) $\Longrightarrow$

$$\int_V \underline{\underline{\sigma}} : \underline{\underline{d}} \;\; dV + \int_\Sigma (\underline{\underline{\sigma}} \cdot \underline{n}) \cdot [\![\underline{v}]\!] \, dS \;\; \leq \;\; \int_V \pi(\underline{\underline{d}}) \;\; dV + \int_\Sigma \pi(\underline{n} \cdot [\![\underline{v}]\!]) \, dS$$

$\forall \underline{v}$ C.A.

Définitions

- $\forall \underline{x} \;\; \in \;\; V \;\setminus\; \Sigma$

$$\pi(\underline{x}, \underline{\underline{d}}(\underline{x})) = \sup_{\underline{\underline{\sigma}}(\underline{x}) \in G(\underline{x})} \left\{ \underline{\underline{\sigma}}(\underline{x}) : \underline{\underline{d}}(\underline{x}) \right\}$$

- $\forall \underline{x} \;\; \in \;\; \Sigma$

$$\pi(\underline{x}, \underline{n}(\underline{x}), [\![\underline{v}(\underline{x})]\!]) = \sup_{\underline{\underline{\sigma}}(\underline{x}) \in G(\underline{x})} \left\{ [\![\underline{v}(\underline{x})]\!] \cdot \underline{\underline{\sigma}}(\underline{x}) \cdot \underline{n}(\underline{x}) \right\}$$

PRINCIPE DE L'APPROCHE

$$\boxed{\underline{Q} \in \mathcal{K}}$$

$$\Downarrow$$

$\forall \underline{v}$ C.A.

$$\underline{Q} \cdot \underline{\dot{q}} \leq \int_V \pi(\underline{\underline{d}}) \; dV + \int_\Sigma \pi(\underline{n} \cdot [\![\underline{v}]\!]) \; dS = P_{rm}(\underline{v})$$

$P_{rm}(\underline{v})$: Puissance résistante maximale

PRINCIPE DE L'APPROCHE

$$\boxed{\underline{Q} \in \mathcal{K}}$$

$$\Downarrow$$

$\forall \underline{v}$ C.A.

$$\underline{Q} \cdot \underline{\dot{q}} \leq \int_V \pi(\underline{\underline{d}})\ dV + \int_\Sigma \pi(\underline{n} \cdot [\![\underline{v}]\!])\ dS = P_{rm}(\underline{v})$$

$P_{rm}(\underline{v})$: Puissance résistante maximale

$\underline{Q} \in \mathcal{K} \implies \forall \underline{v}$ C.A. $\underline{Q} \cdot \underline{\dot{q}} \leq P_{rm}(\underline{v})$

PRINCIPE DE L'APPROCHE

$$\boxed{\underline{Q} \in \mathcal{K}}$$

$$\Downarrow$$

$$\boxed{\begin{array}{l} \forall \underline{v} \ \text{ C.A.} \\ \underline{Q} \cdot \underline{\dot{q}} \ \leq \ \int_V \pi(\underline{\underline{d}}) \ dV + \int_\Sigma \pi(\underline{n} \cdot [\![\underline{v}]\!]) \ dS \ = \ P_{rm}(\underline{v}) \end{array}}$$

$P_{rm}(\underline{v})$: Puissance résistante maximale

$$\underline{Q} \in \mathcal{K} \implies \forall \underline{v} \ \text{ C.A. } \ \underline{Q} \cdot \underline{\dot{q}} \ \leq \ P_{rm}(\underline{v})$$

Théorème cinématique :

$$\boxed{\begin{array}{c} \text{si } \exists \underline{v} \ \text{ C.A. } \quad \text{t.q.} \quad \underline{Q} \cdot \underline{\dot{q}} \ > \ P_{rm}(\underline{v}) \\ \implies \ \underline{Q} \notin \mathcal{K} \end{array}}$$

MISE EN ŒUVRE PRATIQUE

$\underline{v}$ C.A. quelconque

MISE EN ŒUVRE PRATIQUE

$\underline{v}$ C.A. quelconque

1) Calcul de $P_{rm}(\underline{v})$

MISE EN ŒUVRE PRATIQUE

$\underline{v}$ C.A. quelconque

1) Calcul de $P_{rm}(\underline{v})$

2) Exprimer $\underline{Q} \cdot \underline{\dot{q}}(\underline{v})$

MISE EN ŒUVRE PRATIQUE

$\underline{v}$ C.A. quelconque

1) Calcul de $P_{rm}(\underline{v})$

$$\boxed{\mathcal{K} \subset \{\underline{Q} \quad \text{t.q.} \quad \underline{Q} \cdot \underline{\dot{q}} \;-\; P_{rm}(\underline{v}) \;\leq\; 0\;\}}$$

2) Exprimer $\underline{Q} \cdot \underline{\dot{q}}(\underline{v})$

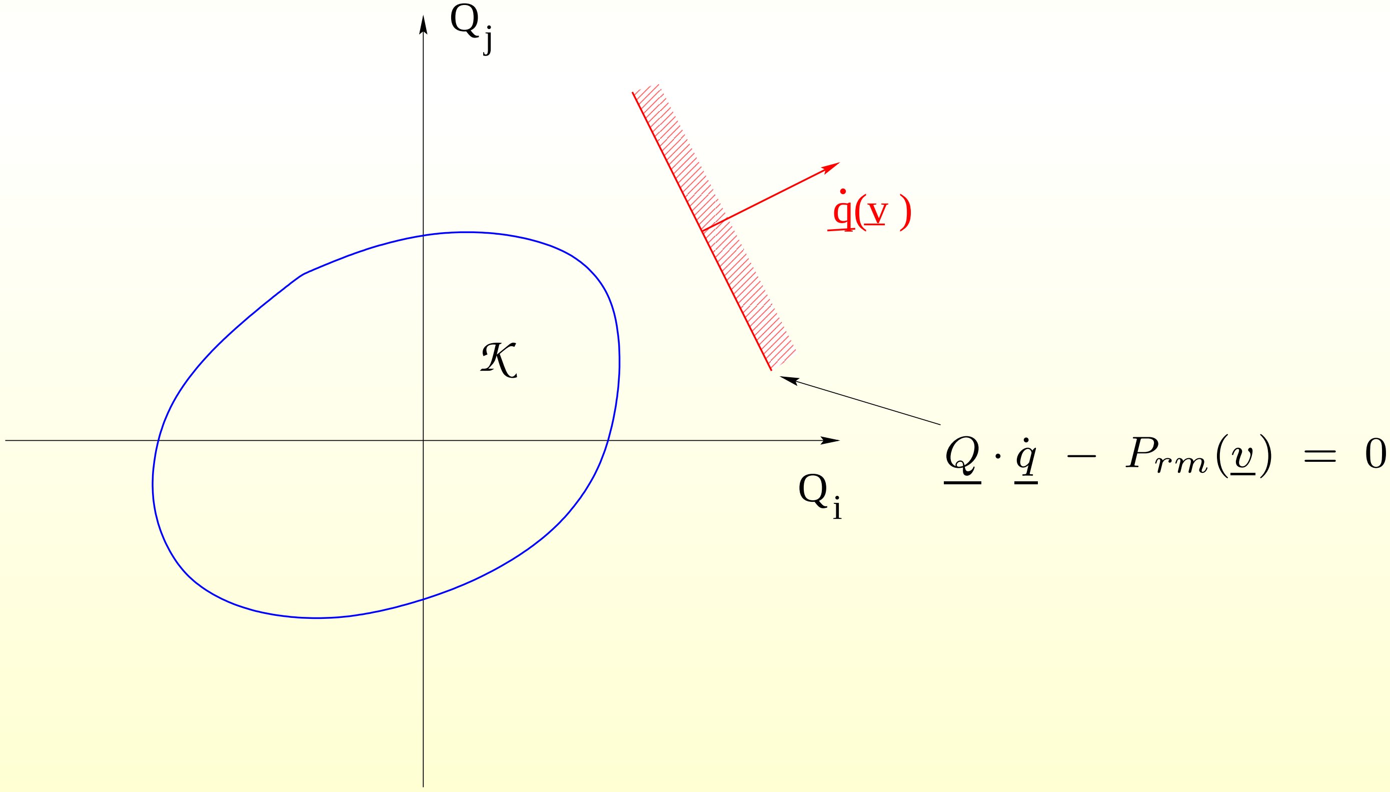
MISE EN ŒUVRE PRATIQUE

$\underline{v}$ C.A. quelconque

1) Calcul de $P_{rm}(\underline{v})$

$$\boxed{\mathcal{K} \subset \{ \underline{Q} \ \ \text{t.q.} \ \ \underline{Q} \cdot \underline{\dot{q}} \ - \ P_{rm}(\underline{v}) \ \leq \ 0 \ \}}$$

2) Exprimer $\underline{Q} \cdot \underline{\dot{q}}(\underline{v})$

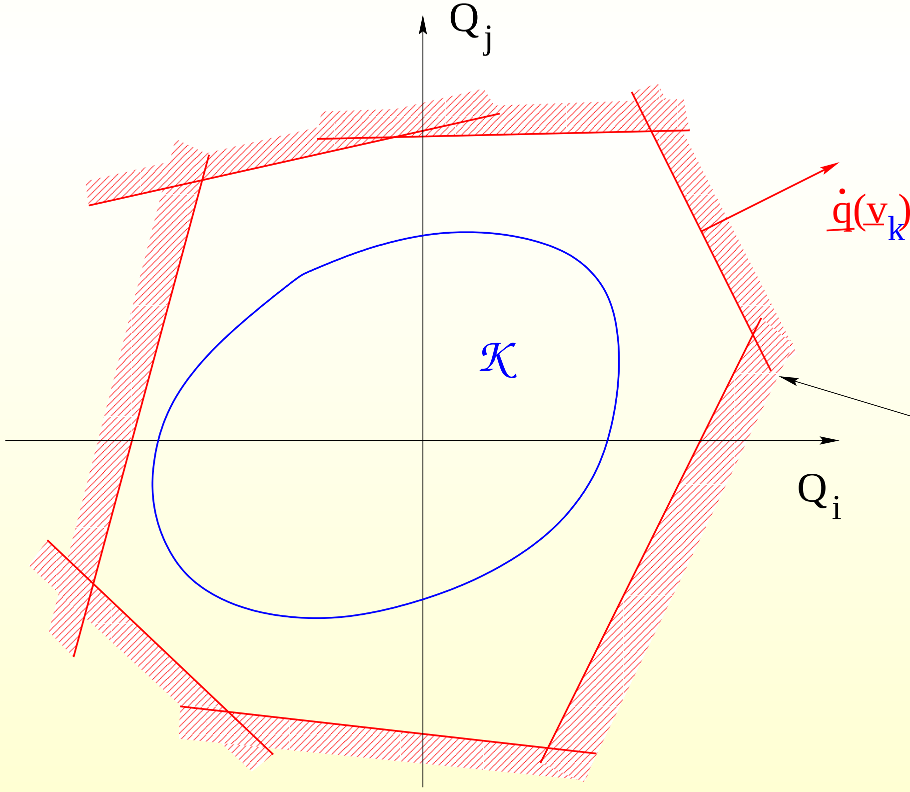


$\underline{v}$ C.A. quelconque

1) Calcul de $P_{rm}(\underline{v})$

$$\boxed{\mathcal{K} \subset \{\underline{Q} \ \text{ t.q. } \ \underline{Q} \cdot \underline{\dot{q}} \ - \ P_{rm}(\underline{v}) \ \leq \ 0 \ \}}$$

2) Exprimer $\underline{Q} \cdot \underline{\dot{q}}(\underline{v})$



$$\underline{Q} \cdot \underline{\dot{q}}_k \ - \ P_{rm}(\underline{v}_k) \ = \ 0$$

$\underline{v}_k$ C.A. $\quad k = 1, ...p$

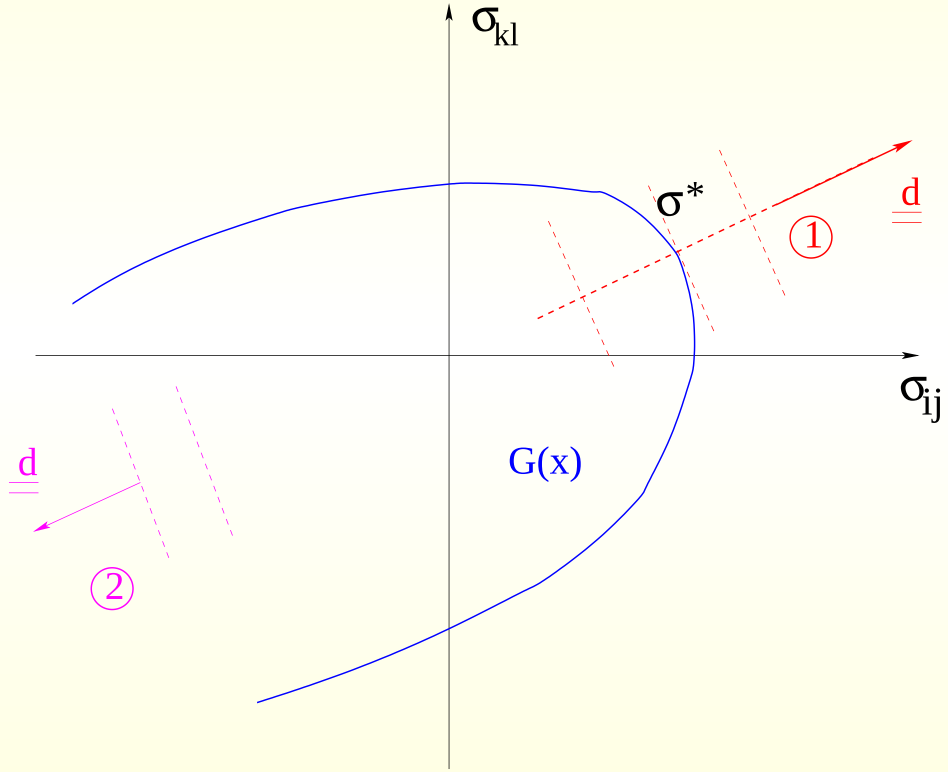
Fonctions "π"

- Fonctions $\pi(\underline{\underline{d}})$ $\qquad \forall \underline{\underline{d}} \quad \pi(\underline{\underline{d}}) = \sup_{\underline{\underline{\sigma}} \in G(\underline{x})} \left\{ \underline{\underline{\sigma}} : \underline{\underline{d}} \right\}$

Fonctions "π"

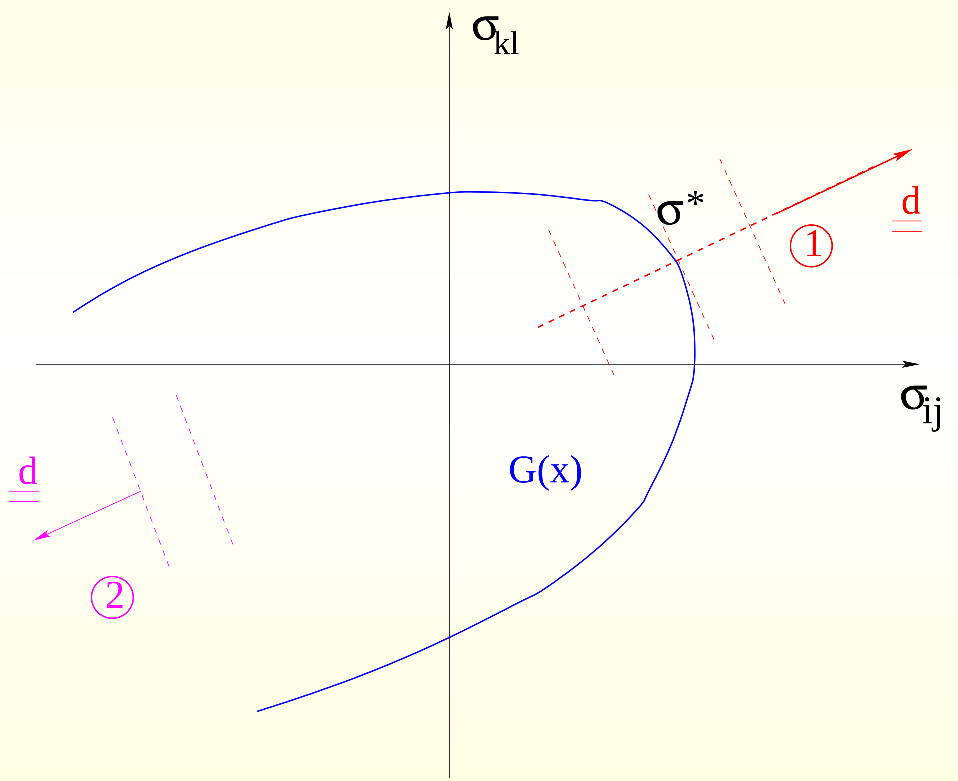
- Fonctions $\pi(\underline{\underline{d}})$

$$\forall \underline{\underline{d}} \quad \pi(\underline{\underline{d}}) = \sup_{\underline{\underline{\sigma}} \in G(\underline{x})} \{\underline{\underline{\sigma}} : \underline{\underline{d}}\}$$



Fonctions "π"

- Fonctions $\pi(\underline{\underline{d}})$ $\qquad \forall \underline{\underline{d}} \quad \pi(\underline{\underline{d}}) = \sup\limits_{\underline{\underline{\sigma}} \in G(\underline{x})} \{\underline{\underline{\sigma}} : \underline{\underline{d}}\}$



Cas 1 : $\pi(\underline{\underline{d}}) = \underline{\underline{\sigma}}^* : \underline{\underline{d}}$ $\qquad$ $\underline{\underline{d}}$: normale extérieure en $\underline{\underline{\sigma}}^*$ à $\partial G(\underline{x})$

Cas 2 : $\pi(\underline{\underline{d}}) = +\infty$

Fonctions "π"

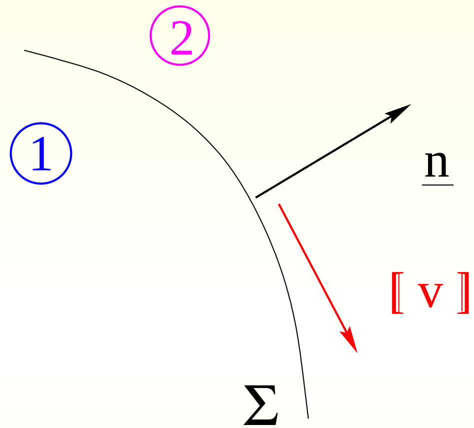
- Tresca ou von Misès

$$\pi(\underline{n}, [\![\underline{v}]\!]) \ < \ +\infty \quad \Longleftrightarrow \quad [\![\underline{v}]\!] \cdot \underline{n} \ = \ 0 \qquad [\![\underline{v}]\!] \text{ tangentiel à } \Sigma$$

Fonctions "π"

- Tresca ou von Misès

$$\pi(\underline{n}, [\![\underline{v}]\!]) \;<\; +\infty \quad\Longleftrightarrow\quad [\![\underline{v}]\!] \cdot \underline{n} \;=\; 0 \qquad [\![\underline{v}]\!] \text{ tangentiel à } \Sigma$$

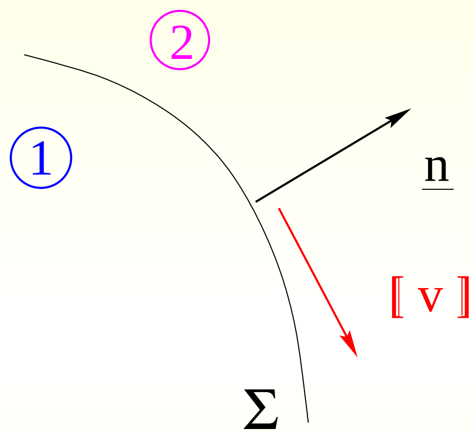


$$[\![\underline{v}]\!] = \underline{v}^{(2)} - \underline{v}^{(1)}$$

Fonctions "π"

- Tresca ou von Misès

$$\pi(\underline{n}, [\![\underline{v}]\!]) \; < \; +\infty \quad \Longleftrightarrow \quad [\![\underline{v}]\!] \cdot \underline{n} \; = \; 0 \qquad [\![\underline{v}]\!] \text{ tangentiel à } \Sigma$$



$$[\![\underline{v}]\!] = \underline{v}^{(2)} - \underline{v}^{(1)}$$

- Coulomb

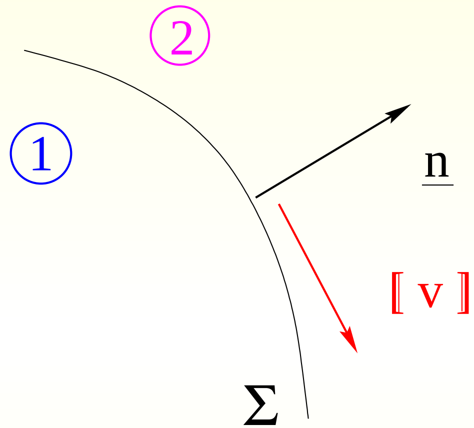
$$\pi(\underline{n}, [\![\underline{v}]\!]) \; < \; +\infty \quad \Longleftrightarrow \quad [\![\underline{v}]\!] \cdot \underline{n} \; \geq \; |[\![\underline{v}]\!]| \sin\varphi$$

$[\![\underline{v}]\!]$ décollement à φ

Fonctions "π"

- Tresca ou von Misès

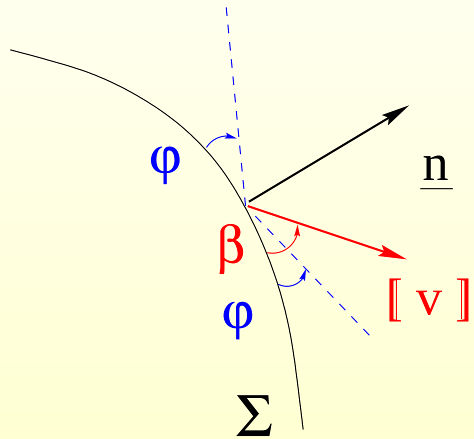
$$\pi(\underline{n}, [\![\underline{v}]\!]) \;<\; +\infty \quad\Longleftrightarrow\quad [\![\underline{v}]\!] \cdot \underline{n} \;=\; 0 \qquad [\![\underline{v}]\!] \text{ tangentiel à } \Sigma$$



$$[\![\underline{v}]\!] = \underline{v}^{(2)} - \underline{v}^{(1)}$$

- Coulomb

$$\pi(\underline{n}, [\![\underline{v}]\!]) \;<\; +\infty \quad\Longleftrightarrow\quad [\![\underline{v}]\!] \cdot \underline{n} \;\geq\; |[\![\underline{v}]\!]| \sin\varphi$$



$[\![\underline{v}]\!]$ décollement à φ

$$\varphi \leq \beta \leq \pi - \varphi$$

PROPRIÉTÉS

a) $$\left[\begin{array}{l} \pi(\underline{\underline{d}}) \ \geq \ 0 \quad \forall \underline{\underline{d}} \\ \pi(\underline{n}, [\![\underline{v}]\!]) \ \geq \ 0 \quad \forall \underline{v} \end{array}\right.$$

$$\Longrightarrow \boxed{P_{rm}(\underline{v}) \ \geq \ 0}$$

PROPRIÉTÉS

a)
$$\left[\begin{array}{lcl} \pi(\underline{\underline{d}}) & \geq & 0 \quad \forall \underline{\underline{d}} \\ \pi(\underline{n}, [\![\underline{v}]\!]) & \geq & 0 \quad \forall \underline{v} \end{array}\right.$$

$$\Longrightarrow \boxed{P_{rm}(\underline{v}) \ \geq \ 0}$$

b)
$$\left[\begin{array}{lcl} \pi(\alpha\underline{\underline{d}}) & = & \alpha\pi(\underline{\underline{d}}) \quad \alpha \geq 0 \ \forall \underline{\underline{d}} \\ \pi(\underline{n}, \alpha[\![\underline{v}]\!]) & = & \alpha\pi(\underline{n}, [\![\underline{v}]\!]) \end{array}\right.$$

Positivement homogène de degré 1

PROPRIÉTÉS

a)
$$\left[\begin{array}{l} \pi(\underline{\underline{d}}) \;\geq\; 0 \quad \forall \underline{\underline{d}} \\ \pi(\underline{n}, [\![\underline{v}]\!]) \;\geq\; 0 \quad \forall \underline{v} \end{array}\right.$$

$$\Longrightarrow \boxed{P_{rm}(\underline{v}) \;\geq\; 0}$$

b)
$$\left[\begin{array}{l} \pi(\alpha\underline{\underline{d}}) \;=\; \alpha\pi(\underline{\underline{d}}) \quad \alpha \geq 0 \;\; \forall \underline{\underline{d}} \\ \pi(\underline{n}, \alpha[\![\underline{v}]\!]) \;=\; \alpha\pi(\underline{n}, [\![\underline{v}]\!]) \end{array}\right.$$

Positivement homogène de degré 1

c)
Les fonctions π sont convexes de $\underline{\underline{d}}$ (resp. $\underline{v}$)

$$\forall\, \alpha_1 \,,\; \alpha_2 \quad \alpha_1 \;+\; \alpha_2 \;=\; 1 \quad , \quad \alpha_i \;\geq\; 0$$

$$\pi(\alpha_1\underline{\underline{d}}_1 + \alpha_2\underline{\underline{d}}_2) \;\leq\; \alpha_1\pi(\underline{\underline{d}}_1) \;+\; \alpha_2\pi(\underline{\underline{d}}_2)$$

CHARGEMENT À UN PARAMÈTRE

$\forall \underline{v}$ C.A.

$$\boxed{\mathcal{K} = [Q^-, Q^+] \quad \subset \quad \{Q \;\; / \;\; Q \cdot \dot{q}(\underline{v}) \;\; \leq \;\; P_{rm}(\underline{v})\}}$$

CHARGEMENT À UN PARAMÈTRE

$\forall \underline{v}$ C.A.

$$\boxed{\mathcal{K} = [Q^-, Q^+] \quad \subset \quad \{Q \ / \ Q \cdot \dot{q}(\underline{v}) \ \leq \ P_{rm}(\underline{v})\}}$$

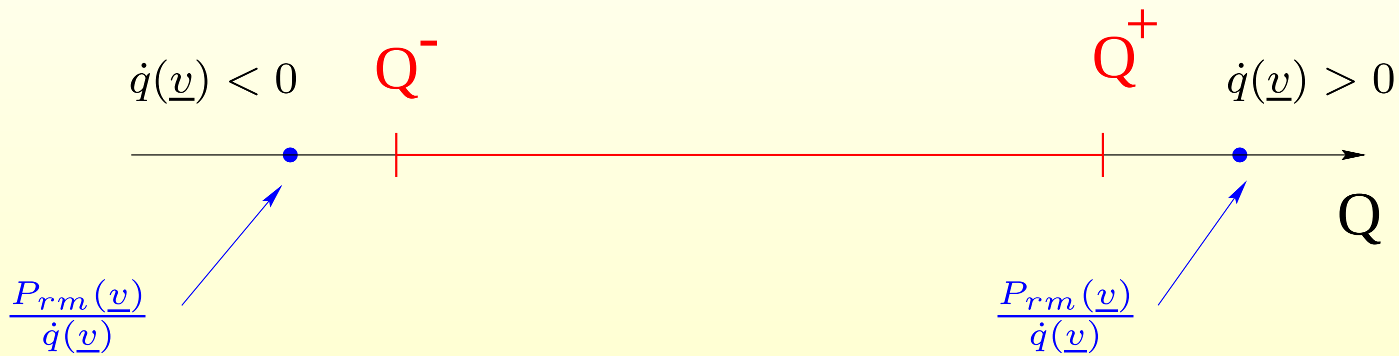
$$\boxed{\begin{array}{llll} Q^+ & \leq \dfrac{P_{rm}(\underline{v})}{\dot{q}(\underline{v})} & \qquad \dot{q}(\underline{v}) & > \ 0 \\ Q^- & \geq \dfrac{P_{rm}(\underline{v})}{\dot{q}(\underline{v})} & \qquad \dot{q}(\underline{v}) & < \ 0 \end{array}}$$

CHARGEMENT À UN PARAMÈTRE

$\forall \underline{v}$ C.A.

$$\boxed{\mathcal{K} = [Q^-, Q^+] \;\subset\; \{Q \;/\; Q \cdot \dot{q}(\underline{v}) \;\leq\; P_{rm}(\underline{v})\}}$$

$$\boxed{\begin{array}{lll} Q^+ \;\leq\; \dfrac{P_{rm}(\underline{v})}{\dot{q}(\underline{v})} & & \dot{q}(\underline{v}) \;>\; 0 \\ Q^- \;\geq\; \dfrac{P_{rm}(\underline{v})}{\dot{q}(\underline{v})} & & \dot{q}(\underline{v}) \;<\; 0 \end{array}}$$



MISE EN ŒUVRE

$$\underline{Q} \in \mathcal{K} \quad \Longrightarrow \quad \forall \underline{v} \text{ C.A.} \quad \underline{Q} \cdot \underline{\dot{q}}(\underline{v}) \;\leq\; P_{rm}(\underline{v})$$

MISE EN ŒUVRE

$$\underline{Q} \in \mathcal{K} \quad \Longrightarrow \quad \forall \underline{v} \text{ C.A.} \quad \underline{Q} \cdot \underline{\dot{q}}(\underline{v}) \ \leq \ P_{rm}(\underline{v})$$

Approche non triviale si et seulement si :

$$1) \quad \underline{\dot{q}}(\underline{v}) \ \neq \ 0$$

$$2) \quad P_{rm}(\underline{v}) \ < \ +\infty$$

MISE EN ŒUVRE

$$\underline{Q} \in \mathcal{K} \quad \Longrightarrow \quad \forall \underline{v} \text{ C.A.} \quad \underline{Q} \cdot \underline{\dot{q}}(\underline{v}) \;\leq\; P_{rm}(\underline{v})$$

Approche non triviale si et seulement si :

$$1) \;\; \underline{\dot{q}}(\underline{v}) \;\neq\; 0$$

$$2) \;\; P_{rm}(\underline{v}) \;<\; +\infty$$

Définition :

$\underline{v}$ est pertinent $\Longleftrightarrow P_{rm}(\underline{v}) \;<\; +\infty$

MISE EN ŒUVRE

$$\underline{Q} \in \mathcal{K} \quad \Longrightarrow \quad \forall \underline{v} \text{ C.A.} \quad \underline{Q} \cdot \underline{\dot{q}}(\underline{v}) \ \leq \ P_{rm}(\underline{v})$$

Approche non triviale si et seulement si :

$$1) \ \ \underline{\dot{q}}(\underline{v}) \ \neq \ 0$$

$$2) \ \ P_{rm}(\underline{v}) \ < \ +\infty$$

Définition :

$$\underline{v} \text{ est pertinent} \iff P_{rm}(\underline{v}) \ < \ +\infty$$

$$\iff \left[\begin{array}{l} \pi(\underline{\underline{d}}) \ < \ +\infty \\ \text{et} \\ \pi(\underline{n}, [\![\underline{v}]\!]) \ < \ +\infty \end{array} \right.$$

MISE EN ŒUVRE

- Champs de vitesse utilisés (mécanisme de rupture)
  - $\longrightarrow$ simples
  - $\longrightarrow$ sínspirer de la “réalité”
  - $\longrightarrow$ imagination