

Le Principe Fondamental de la Statique

La **statique** est une partie de la mécanique dont la finalité est l'étude de l'équilibre des systèmes matériels (solide ou ensemble de solides) **au repos ou en mouvement uniforme** par rapport à un repère supposé fixe (un repère Galiléen).

En fait, la statique (solides au repos) n'est qu'un particulier de la dynamique (solides en mouvement quelconque). En toute logique, et si nous possédions de bonnes connaissances mathématiques, il nous faudrait commencer par étudier la dynamique pour en déduire la théorie concernant le cas particulier qu'est la statique...

1. Enoncé du Principe Fondamental de la Statique

1.1. Définition

Un ensemble matériel {E} est en **équilibre** par rapport à un repère R si, au cours du temps, chaque point de {E} conserve une position fixe par rapport au repère R.

1.2. Enoncé du Principe Fondamental de la Statique

Si un ensemble matériel {E} est en **équilibre** par rapport à un repère R, **la somme des actions mécaniques extérieures à {E} qui agissent sur {E} est nulle.**

Nota : Le Principe Fondamental de la Statique est souvent noté « P.F.S. » par les initiés...

1.3. Frontière d'isolement

Le PFS fait apparaître la notion « d'extérieur à un ensemble matériel ». Par conséquent, avant d'envisager l'utilisation du PFS, nous devons installer **une frontière d'isolement**.

Toutes les actions mécaniques situées dans cette frontière seront donc internes au système isolé, et par conséquent, elles n'interviendront pas dans l'écriture du PFS.

Seules les actions mécaniques extérieures qui traversent cette frontière sont à prendre en compte lors de l'écriture du PFS.

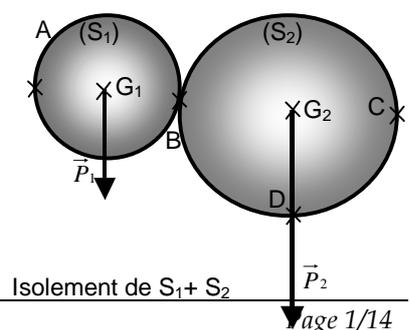
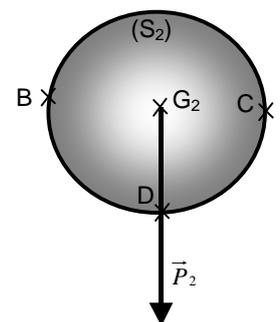
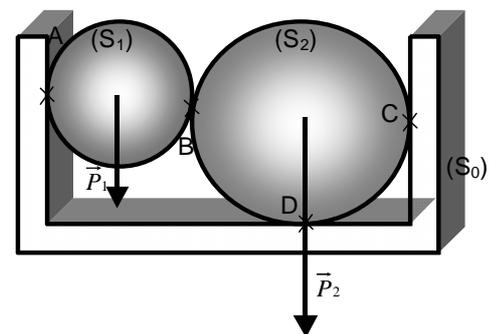
Exemples :

Isolons **le solide S₂**. Les actions mécaniques extérieures à S₂ qui agissent sur S₂ s'énumèrent de la façon suivante :

- Poids de S₂,
- Action, en C de S₀ sur S₂,
- Action, en D de S₀ sur S₂,
- Action, en B, de S₁ sur S₂... et sont concernées par le PFS.

Si nous isolons **les solides S₁+S₂**. Les actions mécaniques extérieures à S₁+S₂ qui agissent sur S₁+S₂ s'énumèrent de la façon suivante :

- Poids de S₁,
- Poids de S₂,
- Action, en A de S₀ sur S₁,
- Action, en C de S₀ sur S₂,



- Action, en D de S_0 sur S_2 .

Nous étudions des mécanismes spatiaux (3D) ou admettant un plan de symétrie (2D). En fonction du problème à traiter, certaines méthodes sont mieux adaptées à la résolution d'un problème de statique.

2. Le Principe Fondamental de la Statique appliqué aux problèmes 3D

Pour résoudre un problème de statique défini dans l'espace et ne possédant pas de plan de symétrie, deux solutions s'offrent à nous :

- Résolution Informatique (Logiciel Mecanalog, ...)
- Résolution Analytique (utilisation des Torseurs).

2.1. Résolution analytique d'un problème de statique 3D

D'après le PFS, si un système matériel {S} est en **équilibre** par rapport à un repère R, **la somme des actions mécaniques extérieures à {S} qui agissent sur {S} est nulle**.

Mathématiquement, nous pouvons traduire ce PFS par la relation suivante :

$$\{\tau_{(\bar{s} \rightarrow s)}\} = \{0\}$$

Notation : \bar{S} désigne le « complémentaire » à S (l'environnement de S, sans S lui-même, donc l'extérieur à S).

Cette relation fait intervenir un torseur. Elle cache donc deux relations entre des vecteurs.

La somme vectorielle (résultante $\vec{R}_{(\bar{s} \rightarrow s)}$) de toutes les forces extérieures à S, agissant sur S est nulle :

Théorème de la Résultante : $\left(\vec{R}_{(\bar{s} \rightarrow s)} = \sum_{i=1}^n \vec{R}_{(s_i \rightarrow s)} = \vec{0} \right)$

La somme vectorielle des moments en A (moment résultant en A $\vec{M}_{A(\bar{s} \rightarrow s)}$) de toutes les actions mécaniques extérieures à S, agissant sur S, est nulle en un point A quelconque.

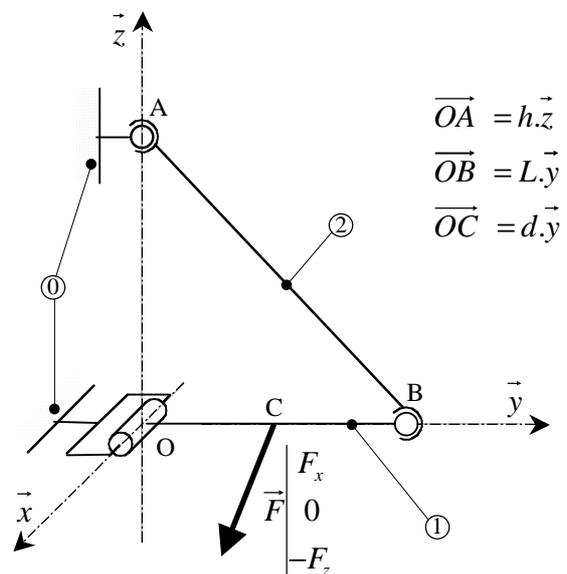
Théorème du moment résultant en A : $\left(\vec{M}_{A(\bar{s} \rightarrow s)} = \sum_{i=1}^n \vec{M}_{A(s_i \rightarrow s)} = \vec{0} \right)$

2.2. Application: Etude d'un portique

Nous souhaitons étudier l'équilibre du **portique** représenté ci-contre. Nous émettrons les hypothèses suivantes :

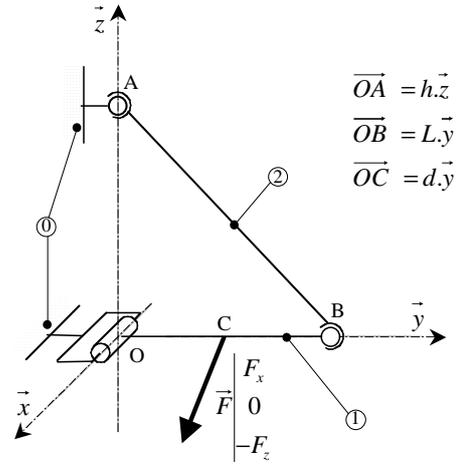
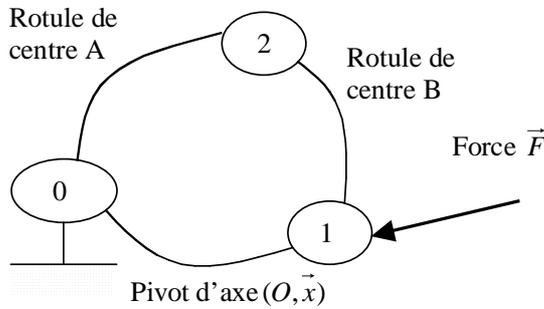
- les liaisons sont supposées parfaites.
- Nous négligerons le poids du tirant 2 par rapport aux autres efforts mis en jeu.

Nous souhaitons exprimer les actions mécaniques dans les liaisons centrées en O, A et B en fonction des paramètres d, h, L, F_x et F_z .



Si nous nous limitons à l'étude de la géométrie du portique, nous constatons que le plan (O, \vec{y}, \vec{z}) est un plan de symétrie pour le mécanisme. Mais lorsque nous examinons l'effort \vec{F} qui s'applique au point C nous constatons que cet effort n'est pas intégralement porté par le plan (O, \vec{y}, \vec{z}) . Ce problème ne peut donc pas être traité dans le plan. C'est un véritable **problème 3D**... que nous traiterons avec l'outil « Torseur ».

1°) Graphe des interactions



2°) Isolement du tirant 2

Si nous isolons le tirant 2, nous pouvons écrire que: $\{\tau_{(2 \rightarrow 2)}\} = \{\tau_{(0 \rightarrow 2)}\} + \{\tau_{(1 \rightarrow 2)}\}$

3°) « Allure » des torseurs intervenants dans l'isolement du tirant 2

L'action mécanique exercée par le mur 0 sur le tirant 2 est transmise par une liaison. Nous écrirons :

- L_{02} : Liaison Rotule parfaite de centre A.

Mobilités : $\overrightarrow{Tr} \begin{vmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} Rx \\ Ry \\ Rz \end{vmatrix}$ d'où le torseur associé... $\{\tau_{(0 \rightarrow 2)}\}_A \begin{Bmatrix} X_{02} & 0 \\ Y_{02} & 0 \\ Z_{02} & 0 \end{Bmatrix}_{(\vec{x}, \vec{y}, \vec{z})}$

Il en est de même pour la liaison rotule parfaite de centre B entre 1 et 2 : $\{\tau_{(1 \rightarrow 2)}\}_B \begin{Bmatrix} X_{12} & 0 \\ Y_{12} & 0 \\ Z_{12} & 0 \end{Bmatrix}_{(\vec{x}, \vec{y}, \vec{z})}$

4°) Écriture au même centre de réduction

Pour pouvoir additionner les torseurs, nous allons les écrire au même point B. $\{\tau_{(1 \rightarrow 2)}\}$ est déjà exprimé au point B. Nous devons donc « déplacer » uniquement $\{\tau_{(0 \rightarrow 2)}\}$.

$\overrightarrow{M}_B^{(0 \rightarrow 2)} = \overrightarrow{M}_A^{(0 \rightarrow 2)} + \overrightarrow{BA} \wedge \overrightarrow{R}_{(0 \rightarrow 2)}$ or $\overrightarrow{M}_A^{(0 \rightarrow 2)} = \vec{0}$ et nous avons $\overrightarrow{BA} \begin{vmatrix} 0 \\ -L \\ h \end{vmatrix}$. Par conséquent,

$\overrightarrow{M}_B^{(0 \rightarrow 2)} = \vec{0} + \begin{vmatrix} 0 \\ -L \\ h \end{vmatrix} \wedge \begin{vmatrix} X_{02} \\ Y_{02} \\ Z_{02} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} -L.Z_{02} - h.Y_{02} \\ h.X_{02} \\ L.X_{02} \end{vmatrix}$ Soit $\{\tau_{(0 \rightarrow 2)}\}_B \begin{Bmatrix} X_{02} & -L.Z_{02} - h.Y_{02} \\ Y_{02} & h.X_{02} \\ Z_{02} & L.X_{02} \end{Bmatrix}_{(\vec{x}, \vec{y}, \vec{z})}$

5°) Application du PFS au tirant 2

Si 2 est en équilibre, alors, d'après le PFS $\{\tau_{(\vec{2} \rightarrow 2)}\} = \{\tau_{(0 \rightarrow 2)}\} + \{\tau_{(1 \rightarrow 2)}\} = \{0\}$

	<i>Équation de Résultante</i>		<i>Équation de Moment Résultant par rapport au point B</i>
	$\vec{R}_{(0 \rightarrow 2)} + \vec{R}_{(1 \rightarrow 2)} = \vec{0}$		$\vec{M}_{B(0 \rightarrow 2)} + \vec{M}_{B(1 \rightarrow 2)} = \vec{0}$
Proj. Sur \vec{x}	(1) $X_{02} + X_{12} = 0$	Proj. Sur \vec{x}	(4) $-L.Z_{02} - h.Y_{02} = 0$
Proj. Sur \vec{y}	(2) $Y_{02} + Y_{12} = 0$	Proj. Sur \vec{y}	(5) $h.X_{02} = 0$
Proj. Sur \vec{z}	(3) $Z_{02} + Z_{12} = 0$	Proj. Sur \vec{z}	(6) $L.X_{02} = 0$

Les équations (5) et (6) sont linéairement dépendantes. Nous obtenons donc 5 équations significatives, pour 6 inconnues de liaison. Nous ne pourrions pas résoudre complètement le problème. Par contre nous pouvons exprimer toutes les inconnues restantes en fonction d'une seule inconnue...

- (5) -> $X_{02} = 0$
- (1) -> $X_{12} = -X_{02} = 0$
- (4) -> $Y_{02} = -\frac{L}{h}.Z_{02}$
- (2) -> $Y_{12} = -Y_{02} = \frac{L}{h}.Z_{02}$
- (3) -> $Z_{12} = -Z_{02}$

$$\{\tau_{(0 \rightarrow 2)}\}_A = \begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ -\frac{L}{h}.Z_{02} & 0 \\ Z_{02} & 0 \end{Bmatrix}_{(\vec{x}, \vec{y}, \vec{z})}$$

$$\{\tau_{(1 \rightarrow 2)}\}_B = \begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ \frac{L}{h}.Z_{02} & 0 \\ -Z_{02} & 0 \end{Bmatrix}_{(\vec{x}, \vec{y}, \vec{z})}$$

Pour poursuivre la résolution de notre problème, nous devons isoler un autre système matériel.

6°) Isolement du portique 1

Si nous isolons le portique 1, nous pouvons écrire que: $\{\tau_{(\vec{1} \rightarrow 1)}\} = \{\tau_{(Op \rightarrow 1)}\} + \{\tau_{(0 \rightarrow 1)}\} + \{\tau_{(2 \rightarrow 1)}\}$

7°) « Allure » des torseurs intervenants dans l'isolement du portique 1

L'action mécanique exercée en C par l'opérateur sur 1 est une force. Elle se modélise donc par un glisseur en son point d'application :

$$\{\tau_{(Op \rightarrow 1)}\}_C = \begin{Bmatrix} F_x & 0 \\ 0 & 0 \\ -F_z & 0 \end{Bmatrix}_{(\vec{x}, \vec{y}, \vec{z})}$$

L'action mécanique exercée par le mur 0 sur le portique 1 est transmise par une liaison. Nous écrivons :

- L₀₁ : Liaison Pivot parfaite d'axe (O, \vec{x}).

Mobilités : $\begin{array}{c|c} \vec{Tr} & \vec{Rot} \\ \hline 0 & Rx \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{array}$ d'où le torseur associé...

$$\{\tau_{(0 \rightarrow 1)}\}_O = \begin{Bmatrix} X_{01} & 0 \\ Y_{01} & M_{01} \\ Z_{01} & N_{01} \end{Bmatrix}_{(\vec{x}, \vec{y}, \vec{z})}$$

L'action mécanique exercée par le tirant 2 sur le portique 1 a un air de déjà-vu. En effet, nous l'avons déjà abordée lorsque nous avons isolé le tirant 2. Un principe est à notre disposition...

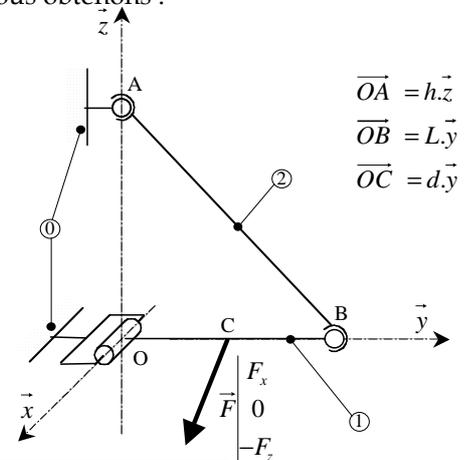
$$\begin{aligned}
 (5) \rightarrow M_{01} &= 0 & (6) \rightarrow N_{01} &= d.F_x & (1) \rightarrow X_{01} &= -F_x \\
 (4) \rightarrow Z_{02} &= \frac{d}{L}.F_z & (2) \rightarrow Y_{01} &= \frac{L}{h}.Z_{02} = \frac{L}{h}.\frac{d}{L}.F_z = \frac{d}{h}.F_z \\
 (3) \rightarrow Z_{01} &= F_z - Z_{02} = F_z - \frac{d}{L}.F_z = \frac{L-d}{L}.F_z
 \end{aligned}$$

Si nous récapitulons les résultats de nos deux études précédentes, nous obtenons :

Dans la pivot entre 0 et 1

$$\left\{ \tau_{(0 \rightarrow 1)} \right\}_O = \begin{Bmatrix} -F_x & 0 \\ \frac{d}{h}.F_z & 0 \\ \frac{L-d}{L}.F_z & d.F_x \end{Bmatrix}$$

$(\vec{x}, \vec{y}, \vec{z})$



Dans la rotule entre 1 et 2

$$\left\{ \tau_{(1 \rightarrow 2)} \right\}_B = \begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ \frac{d}{h}.F_z & 0 \\ -\frac{d}{L}.F_z & 0 \end{Bmatrix}$$

$(\vec{x}, \vec{y}, \vec{z})$

Dans la rotule entre 0 et 2

$$\left\{ \tau_{(0 \rightarrow 2)} \right\}_A = \begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ -\frac{d}{h}.F_z & 0 \\ \frac{d}{L}.F_z & 0 \end{Bmatrix}$$

$(\vec{x}, \vec{y}, \vec{z})$

10°) Application Numérique

Avec $L = h = 5 \text{ m}$ $d = 4 \text{ m}$ $F_x = 50 \text{ N}$ $F_z = 500 \text{ N}$, nous obtenons :

$$\left\{ \tau_{(0 \rightarrow 1)} \right\}_O = \begin{Bmatrix} -50 \text{ N} & 0 \\ 400 \text{ N} & 0 \\ 100 \text{ N} & 200 \text{ N.m} \end{Bmatrix}$$

$(\vec{x}, \vec{y}, \vec{z})$

et

$$\left\{ \tau_{(1 \rightarrow 2)} \right\}_B = \begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ 400 \text{ N} & 0 \\ -400 \text{ N} & 0 \end{Bmatrix}$$

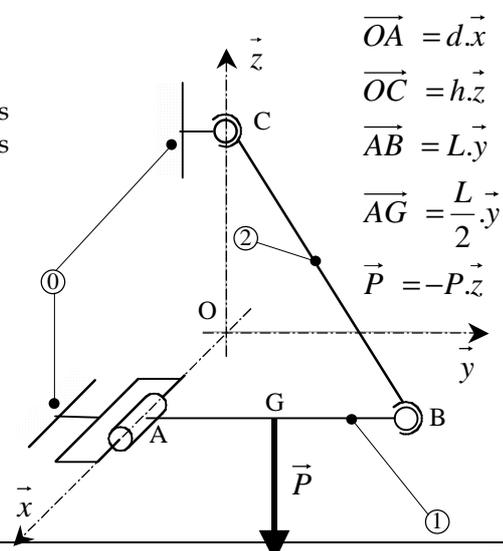
$(\vec{x}, \vec{y}, \vec{z})$

2.3. Le retour du Portique...

Un cousin peu éloigné du portique que nous venons d'étudier est représenté ci-contre. Nous émettrons les hypothèses suivantes :

- les liaisons sont supposées parfaites.
- Nous négligerons le poids du tirant 2 par rapport aux autres efforts mis en jeu.

Nous souhaitons exprimer les actions mécaniques dans les liaisons centrées en A, B et C en fonction des paramètres d, h, L et P.



3. Le Principe Fondamental de la Statique appliqué aux problèmes 2D

Pour résoudre un problème de statique défini dans le plan ou admettant un plan de symétrie, plusieurs solutions s’offrent à nous :

- Résolution Informatique (Logiciel Mecanalog, ...),
- Résolution Analytique (utilisation des Torseurs),
- Résolution Analytique (utilisation des Moments par rapports à un axe),
- Résolution Graphique.

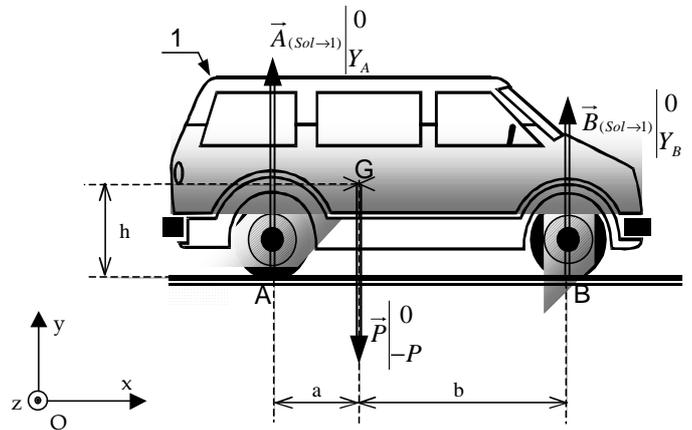
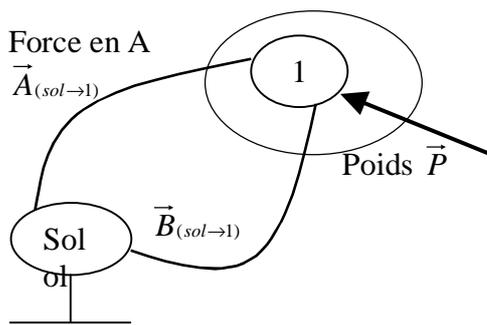
3.1. Résolution analytique d’un problème de statique 2D

Une résolution analytique grâce à l’outil « **Torseur** » est bien entendu envisageable. Même si cette méthode demande de nombreuses écritures, et est parfois fastidieuse à appliquer, elle a le mérite d’être systématique. Il suffit de suivre la méthode indiquée au paragraphe 2.2. Les torseurs sont « allégés » car, seules les composantes de résultantes appartenant au plan, et de moment perpendiculaire au plan apparaissent.

Une Solution plus efficace, consiste à utiliser la notion de **moment par rapport à un axe** perpendiculaire au plan d’étude.

Exemple : Equilibre d’un véhicule sur un sol horizontal.

1°) Graphe des interactions



2°) Isolement

Isolons le véhicule repéré 1. Pour ce faire, traçons une frontière d’isolement sur le graphe des interactions. Les actions mécaniques extérieures à 1 qui agissent sur 1 sont :

- Le Poids de 1,
- L’action en A du Sol sur 1,
- L’action en B du Sol sur 1.

3°) Enoncé du PFS

Si le véhicule repéré 1 est en **équilibre** par rapport au repère R, **la somme des actions mécaniques extérieures à 1 qui agissent sur 1 est nulle**. Par conséquent, à l’équilibre, nous pouvons écrire :

Équation de la résultante : $\vec{R}_{(1 \rightarrow 1)} = \vec{P} + \vec{A}_{(Sol \rightarrow 1)} + \vec{B}_{(Sol \rightarrow 1)} = \vec{0}$ et

Équation du moment résultant par rapport à l’axe (A, \vec{z}) :

$$M_{Az}(\vec{1} \rightarrow 1) = M_{Az}(\vec{P}) + M_{Az}(\vec{A}_{(Sol \rightarrow 1)}) + M_{Az}(\vec{B}_{(Sol \rightarrow 1)}) = 0$$

↳ Nous devons faire un choix judicieux pour l’écriture de l’équation du moment résultant.

4°) Résolution

Équation de Résultante

$$\vec{P} + \vec{A}_{(Sol \rightarrow 1)} + \vec{B}_{(Sol \rightarrow 1)} = \vec{0}$$

Proj. Sur \vec{x} (1) $0 + 0 + 0 = 0$

Proj. Sur \vec{y} (2) $-P + Y_A + Y_B = 0$

Équation de Moment Résultant par rapport à l'axe (A, \vec{z})

$$M_{Az}(\vec{P}) + M_{Az}(\vec{A}_{(Sol \rightarrow 1)}) + M_{Az}(\vec{B}_{(Sol \rightarrow 1)}) = 0$$

(3) $-a.P + (a+b).Y_B = 0$

L'équation (1) ne nous est pas d'une grande utilité... Il nous reste donc un système de deux équations à 2 inconnues (Y_A, Y_B). La résolution de ce système d'équations est donc envisageable.

$$\begin{cases} (2) & -P + Y_A + Y_B = 0 \\ (3) & -a.P + (a+b).Y_B = 0 \end{cases} \quad \text{où encore,} \quad \begin{cases} (2) & Y_A = P - Y_B \\ (3) & Y_B = \frac{a.P}{(a+b)} \end{cases} \quad \text{soit finalement :} \quad \begin{cases} Y_A = \frac{b.P}{(a+b)} \\ Y_B = \frac{a.P}{(a+b)} \end{cases}$$

Par conséquent les actions mécaniques en A et B s'écrivent :

$\vec{A}_{(Sol \rightarrow 1)}$	0	et	$\vec{B}_{(Sol \rightarrow 1)}$	0
	$\frac{b.P}{(a+b)}$			$\frac{a.P}{(a+b)}$

3.2. Résolution graphique d'un problème de statique 2D

Lorsque nous souhaitons un résultat rapide avec une précision limitée, il peut être intéressant d'utiliser une méthode graphique pour résoudre un problème de statique.

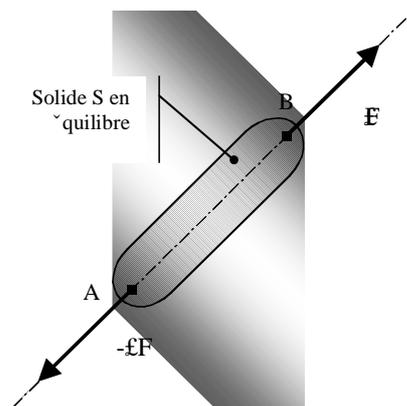
Nous n'aborderons que les problèmes plans faisant intervenir 2 ou 3 forces par ensemble isolé. Nous devons, au préalable, énoncer deux théorèmes qui découlent du PFS.

3.2.1. Solide soumis à l'action de deux forces

D'après le **théorème des deux forces**, un solide est en équilibre sous l'action de deux forces si **ces deux forces sont égales** en intensité et **directement opposées** (même direction et sens contraire).

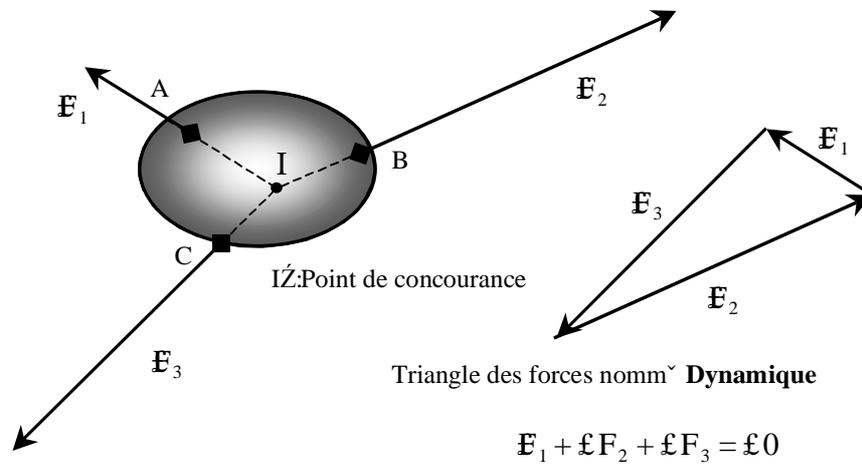
Par conséquent, les deux forces ont :

- ☞ la même ligne d'action (droite AB),
- ☞ la même intensité,
- ☞ un sens opposé.



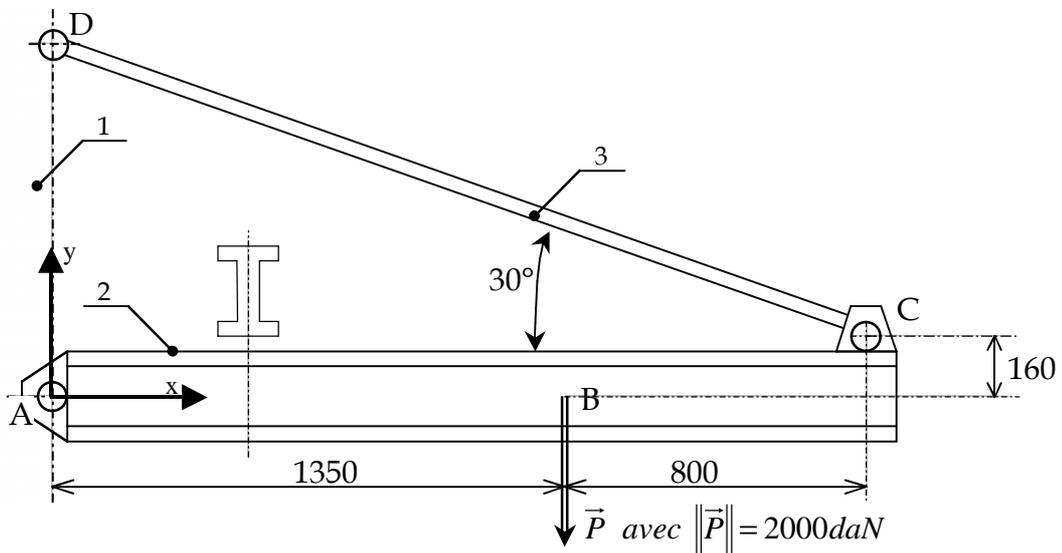
3.2.2. Solide soumis à l'action de trois forces

D'après le **théorème des trois forces**, un solide soumis à l'action de trois forces coplanaires (non parallèles) est en équilibre si **les trois forces sont concourantes au même point** et si **la somme vectorielle de ces trois forces est nulle**.



3.2.3. Application : Potence à tirant

Une potence 2 est supportée par un mur 1 et par un tirant 3. Sur cette potence, en B, se situe un palan dont le poids est connu. Les points A, C et D sont des articulations, modélisées par des pivots parfaits. L'ensemble est supposé en équilibre. On néglige les poids de la potence 2 et du tirant 3 par rapport aux autres efforts mis en jeu.



De toute évidence, ce problème admet comme plan de symétrie (pour la géométrie et pour les efforts) le plan (A, \vec{x}, \vec{y}) . Nous pouvons donc envisager d'utiliser une méthode graphique (entre autres) pour déterminer les efforts dans les différentes liaisons.

Rapidement, nous constatons que le tirant 3 est soumis à l'action de deux forces $\vec{D}_{(1 \rightarrow 3)}$ et $\vec{C}_{(2 \rightarrow 3)}$, tandis que la potence 2 est sollicitée sous l'action de trois forces \vec{P} , $\vec{A}_{(1 \rightarrow 2)}$ et $\vec{C}_{(3 \rightarrow 2)}$.

Nous commencerons notre étude en isolant le tirant 3.

Isolement du tirant 3 :

Force	Direction	Sens	Intensité
$\vec{C}_{(2 \rightarrow 3)}$	(1) CD	(12) 	(12) 3150 daN
$\vec{D}_{(1 \rightarrow 3)}$	(1) CD	(12) 	(12) 3150 daN

En appliquant le **théorème des deux forces**, nous sommes capables de déterminer la direction des supports des forces $\vec{D}_{(1 \rightarrow 3)}$ et $\vec{C}_{(2 \rightarrow 3)}$. En effet, si le tirant 3 est en équilibre, et comme il est soumis à l'action de deux forces, ces deux forces ont obligatoirement la même droite d'action CD (1).

Cette découverte faite, nous traçons et repérons ce support CD sur le document de la page suivante.

Pour le moment, nous ne pouvons rien dire de plus. Il nous faut donc isoler la potence 2.

Isolement de la potence 2 :

Force	Direction	Sens	Intensité
\vec{P}	(2) Verticale	(2) descendante	(2) 2000 daN
$\vec{A}_{(1 \rightarrow 2)}$	(5) AI ₂	(11) 	(11) 3050 daN
$\vec{C}_{(3 \rightarrow 2)}$	(3) CD	(11) 	(11) 3150 daN

Le poids de la potence 2 est intégralement connu (2).

La force $\vec{C}_{(3 \rightarrow 2)}$ ne nous est pas totalement inconnue. En effet, d'après le **Principe des actions mutuelles** $\vec{C}_{(3 \rightarrow 2)} = -\vec{C}_{(2 \rightarrow 3)}$. Nous en déduisons que le support de $\vec{C}_{(3 \rightarrow 2)}$ est aussi la droite CD (3). Nous la traçons, en C, sur le document en page suivante concernant l'isolement de 2.

En utilisant la **première partie du théorème des trois forces**, nous pouvons déterminer le point de concourance I₂ des supports des trois forces. Pour ce faire, il suffit de prolonger les supports de \vec{P} et de $\vec{C}_{(3 \rightarrow 2)}$. Nous localisons ainsi le point I₂ (4).

Remarque : Si ces supports étaient parallèles, il n'y aurait pas de point de concourance, et nous ne pourrions pas appliquer cette méthode de résolution graphique.

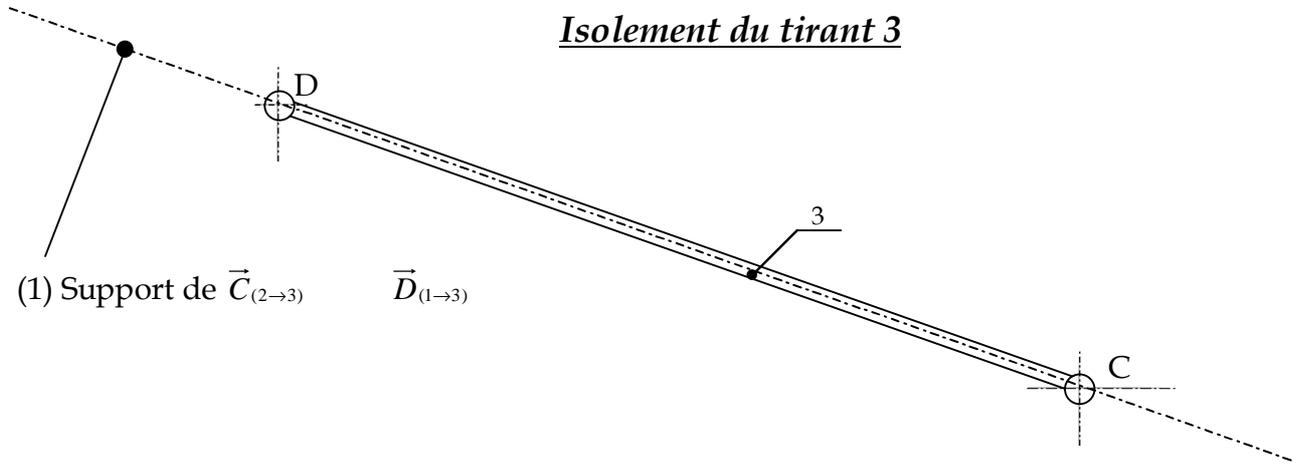
Nous en déduisons, toujours en appliquant la **première partie du théorème des trois forces**, que le support de $\vec{A}_{(1 \rightarrow 2)}$ est la droite AI₂. Nous la traçons et la repérons sur le document adéquat (5).

Il nous reste à exploiter la **deuxième partie de théorème des 3 forces**. Si 2 est en équilibre sous l'action de trois forces, alors, la somme vectorielle $\vec{P} + \vec{A}_{(1 \rightarrow 2)} + \vec{C}_{(3 \rightarrow 2)}$ est nulle. Pour traduire graphiquement cette relation, nous allons construire le **triangle des forces** (aussi appelé **Dynamique**).

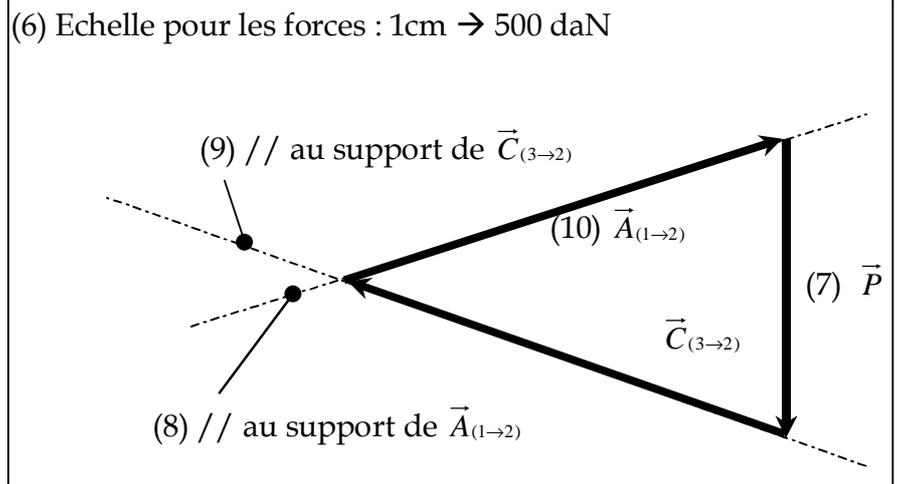
- Nous commençons par tracer, à proximité de la pièce isolée, le vecteur force \vec{P} qui est intégralement connu. Nous devons donc, définir **une échelle des forces** (6), puis tracer le vecteur \vec{P} (7).
- Nous traçons une parallèle au support de $\vec{A}_{(1 \rightarrow 2)}$ passant par l'origine du vecteur \vec{P} (8).
- Nous traçons une parallèle au support de $\vec{C}_{(3 \rightarrow 2)}$ passant par l'extrémité du vecteur \vec{P} (9).
- Il nous reste plus qu'à tracer, sur le triangle que nous venons de construire, deux vecteurs pour obtenir la somme vectorielle $\vec{P} + \vec{A}_{(1 \rightarrow 2)} + \vec{C}_{(3 \rightarrow 2)}$ nulle (10).

- Nous devons compléter les tableaux précédents en exploitant les informations « lues » sur le dynamique (11 et 12).

- En général, nous reportons les forces que nous venons de déterminer sur chacune des pièces isolées (13).



Dynamique



Isolement de la potence 2

