

4. Hydrostatique :

4.1 Condition D'équilibre :

Les fluides ne sont pas rigides et ne peuvent pas rester longtemps au repos sous l'action de forces extérieures.

Appliquons une force (\vec{F}) sur la surface (S) d'un petit élément de liquide incompressible, voir le schéma ci-contre.

Cette force (\vec{F}) peut être décomposée en une somme vectorielle de deux forces

:

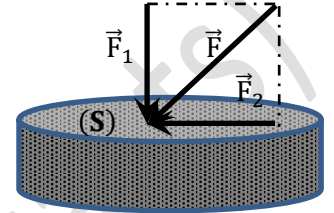
$$\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2$$

La force (\vec{F}_1) est **perpendiculaire** à la surface (S) ; et la force (\vec{F}_2) est **parallèle** à la surface (S).

Lorsque la force parallèle ($\vec{F}_2 \neq 0$) **est non nulle**, l'écoulement du liquide aura lieu. Et lorsque la force parallèle ($\vec{F}_2 = 0$) **est nulle**, la force (\vec{F}) est perpendiculaire à la surface (S) et le liquide se trouve alors au repos.

Donc, le déplacement d'un liquide (fluide) est conditionné par l'existence d'une force parallèle appliquée sur sa surface.

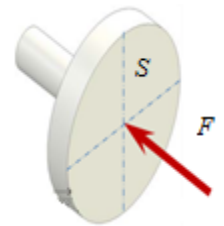
Un liquide **est au repos seulement** lorsque les forces parallèles appliquées sur lui sont nulles. Toute force exercée sur un fluide au repos **doit être perpendiculaire** à la surface sur laquelle il agira.



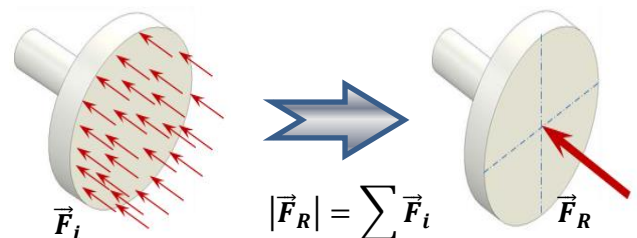
4.2 Pression :

4.3.1 Définition C'est une **grandeur scalaire** proportionnelle à l'intensité de la force, et inversement proportionnelle à la surface (S) sur laquelle s'exerce cette force.

$$\boxed{P = \frac{|\vec{F}|}{S}} \begin{cases} |\vec{F}| : \text{est l'intensité de la force en newton (N)} \\ S : \text{est la surface qui subit l'effet de la force en (m}^2\text{)} \\ P : \text{est la pression en pascal } \left(\frac{\text{Newton}}{\text{m}^2} = \text{Pa}\right) \end{cases}$$



On peut généraliser et dire qu'au lieu d'avoir des forces ponctuelles (\vec{F}_i), nous considérons maintenant des forces résultantes (\vec{F}_R) qui agissent sur une surface étendue.



La pression dans un fluide est liée à la **compression des molécules les unes contre les autres**. Cette compression a pour effet d'augmenter le mouvement relatif des molécules entre elles. Plus la pression exercée dans un fluide est grande, plus l'agitation des molécules est importante.

Lorsque l'intensité de la force ($d\vec{F}$) est variable d'un point à un autre, on utilise la notation différentielle (dP) sur un élément de surface (ds) et elle sera donnée par : $dP = \frac{|d\vec{F}|}{ds}$

4.3.2 Remarque :

- La pression est équivalente à une **énergie par unité de volume**. Elle représente aussi une **puissance par unité de débit**.
- La dimension de la pression est la même que celle d'une énergie par unité de volume :

$$P = \frac{|\vec{F}|}{S} = \frac{m \times l \times s^{-2}}{l^2} \begin{cases} m: \text{est une masse} \\ l: \text{est une longueur} \\ s: \text{est un temps} \end{cases}$$

- La dimension de l'énergie par unité de longueur est:

$$P = \frac{\text{Energie}}{\text{Vol}} = \frac{m \times l^2 \times s^{-2}}{l^3} = \frac{m \times l \times s^{-2}}{l^2} \begin{cases} m: \text{est une masse} \\ l: \text{est une longueur} \\ s: \text{est un temps} \end{cases}$$

- Sa dimension est aussi la même que celle d'une puissance par unité de débit :

$$P = \frac{\text{Energie/temps}}{\text{Vol/temps}} = \frac{\text{Puissance}}{\text{Débit}} = \frac{m \times l \times s^{-2}}{l^2} \begin{cases} m: \text{est une masse} \\ l: \text{est une longueur} \\ s: \text{est un temps} \end{cases}$$

Donc la pression (P) peut être calculée par l'une des expressions suivantes :

$$P = \frac{|\vec{F}|}{S} = \frac{\text{Energie}}{\text{Vol}} = \frac{\text{Puissance}}{\text{Débit}}$$

4.3.3 Unité De La Pression :

4.3.3.1 Dans le système international l'unité de la pression est le pascal ainsi que ces multiples :

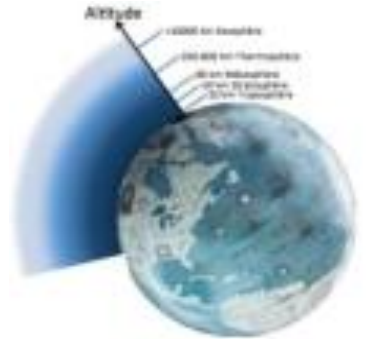
$$\left(1 \text{ (Pa)} = \frac{1 \text{ (N)}}{1 \text{ (m}^2\text{)}} ; 100 \text{ (Pa)} = 1 \text{ (hPa)} \right)$$

4.3.3.2 D'autres unités usuelles de la pression existent pour différents domaine d'applications spécifique, tel que le :

- Bar, ancienne unités le (**Bar**) et ces multiples. ($1 \text{ (Bar)} = 10^5 \text{ (Pa)}$).
- L'atmosphère (**Atm**) ($1 \text{ (Atm)} = 1,013 \text{ (Bar)} = 1,013 \times 10^5$).
- Le millimètre de mercure ($1 \text{ (mm) de Hg} = 133 \text{ (Pa)}$).
- Le centimètre d'eau ($1 \text{ (Cm) de H}_2\text{O} = 98 \text{ (Pa)}$).
- **Dans le système (CGS)** on utilise le **Barye**. Le Barye est la pression développée par une force de ($|\vec{F}| = 1 \text{ (Dyne)}$) sur une surface (S) de ($S = 1 \text{ cm}^2$). ($1 \text{ dyne} = 10^{-5} \text{ Newton}$).
- Dans le **domaine clinique** la pression est le plus souvent exprimée en hauteur de **mercure (Hg)**.

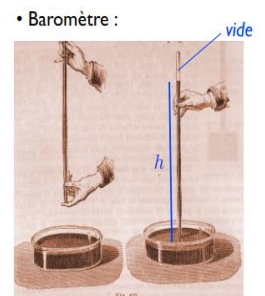
4.3.4 Pression Atmosphérique :

La pression atmosphérique est définie par **le poids de l'air exercé sur (1 m^2) de la surface** de la Terre. Plus on s'éloigne de la surface de la Terre, plus il y a moins de molécules d'air. Donc la pression diminue avec l'altitude (h).



La pression atmosphérique est mesurée à l'aide du baromètre de **Torricelli**.

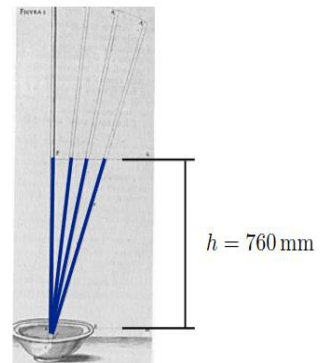
Lorsque l'on remplit un tube avec du mercure, ensuite on le plonge dans un vase rempli du mercure, le fluide qui se trouve dans le tube descend et se stabilise à une hauteur (h) tel que (**$h = 76\text{ cm}$**). Dans la partie supérieure de ce tube c'est le vide (il n'y a pas d'air).



expérience de Torricelli

Si l'expérience est refaite avec de l'eau, l'équilibre sera atteint avec une hauteur (**$h' = 10,1\text{ m}$**).

Plus la densité du liquide utilisé est petite, plus la hauteur de la colonne est importante. C'est pour cela que, du point de vue pratique, dans la plupart des appareils de mesure des hautes pressions (tension artérielle) on utilise des manomètres de mercure car sa densité est très grande ($d_{Hg} = 13.6$), et pour mesurer les faibles pressions (tension veineuse) on utilise des manomètres à eau ($d_{H_2O} = 1$.)



Le poids d'une colonne de mercure de (760 mm) de hauteur se trouvant dans le tube de Torricelli est égal à la contre force exercée par la pression atmosphérique.

$$\boxed{1\text{ (Atm)} = 76\text{ (cm) de Hg}}$$

4.4 Pression dans un fluide au repos.

4.4.1 Principe de Pascal : Dans un fluide immobile et incompressible (liquide), une variation de pression se **transmet intégralement dans toutes les directions**.

4.4.2 Lois De L'hydrostatique :

Trois conditions doivent être satisfaites pour établir les lois physiques qui régissent l'hydrostatique :

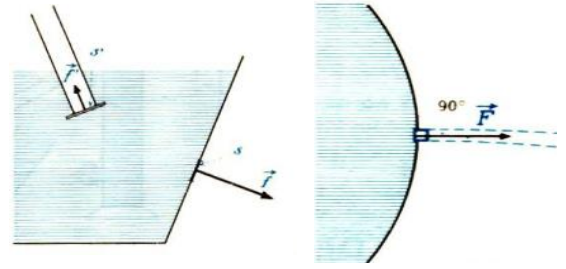
La seringue de Pascal



- Le fluide doit être au repos (**immobile**).
- Il doit être aussi **incompressible** (on s'intéresse donc spécialement aux liquides).
- Sa **température doit être constante**, car un gradient de température en son sein est susceptible de produire des mouvements de convection.

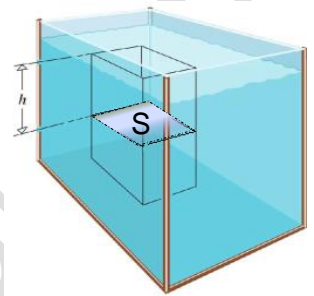
4.4.2.1 Première loi de l'hydrostatique :

La force pressante exercée par un fluide en équilibre sur un élément de surface quelconque est toujours normale à cet élément, et est constante dans toutes les directions.



4.4.2.2 Deuxième Loi De L'hydrostatique Dite Équation Fondamentale De L'hydrostatique :

Soit un réservoir ouvert et contenant un liquide de masse volumique (ρ) connue. Analysons l'équilibre d'une surface (S) de ce liquide se trouvant à une profondeur (h), et positionnée parallèlement à la surface libre du liquide.



Selon la première loi de Newton, l'équilibre de l'élément (S) sera régi par **trois forces exercées** sur cet élément, voir schéma ci-contre :

a) La force (\vec{F}_A) est la résultante due à l'action de la pression atmosphérique sur l'élément de surface (S), et est orientée vers le bas :

$$|\vec{F}_A| = P_{\text{atm}} \times S = P_A \times S \begin{cases} P_A: \text{est la pression exercée par l'atmosphère.} \\ S: \text{est l'élément de surface.} \end{cases}$$

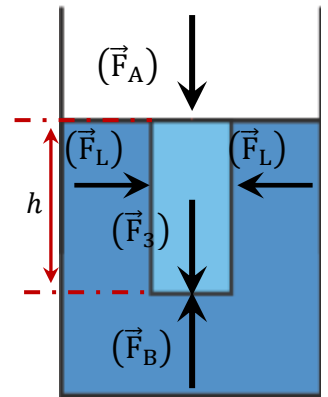
b) La force (\vec{F}_B) est la résultante due à la réaction du liquide sur l'élément de surface (S) orientée vers le haut

$$|\vec{F}_B| = P_{\text{base}} \times S = P_B \times S \begin{cases} P_B: \text{est la pression exercée par la réaction du liquide.} \\ S: \text{est l'élément de surface.} \end{cases}$$

c) La force (\vec{F}_3) est due au poids de la colonne de liquide de masse ($m = \rho \times \text{Vol}$) qui se trouve au-dessus de l'élément de surface (S).

$$\vec{F}_3 = m \times g = S \times h \times \rho \times g \begin{cases} \rho: \text{est la masse volumique du liquide.} \\ \text{Vol: est le volume de la colonne de liquide. Vol} = S \times h \\ g: \text{la gravité.} \end{cases}$$

d) Les forces latérales (\vec{F}_L) sont les résultantes des actions du liquide sur les surfaces latérales de l'élément de surface, **ces dernières s'annulent** car elles ont la même intensité et de sens opposé.



Donc l'équilibre de l'élément de surface (S) sera donc donné par : $\sum \vec{F}_i = 0 \rightarrow \vec{F}_A + \vec{F}_3 + \vec{F}_B = 0$.

La projection de ces trois forces sur un axe vertical orienté dans le sens de la profondeur (h) donne :

$$P_B \times S = P_A \times S + S \times h \times \rho \times g$$

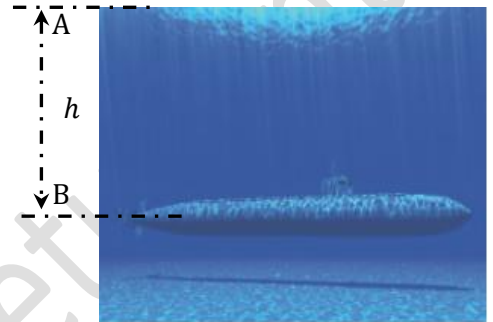
L'élément de surface (**S**), peut-être simplifié, et on déduit **la loi fondamentale** de l'hydrostatique qui permet de donner la pression générée par un liquide soumis à la pression atmosphérique à une profondeur (**h**) donnée :

$$P_B = P_A + \rho \times g \times h$$

$\left\{ \begin{array}{l} P_B : \text{est la pression absolue.} \\ P_A : \text{la pression atmosphérique.} \\ \rho \times g \times h : \text{est la pression relative.} \end{array} \right.$

e) La pression absolue en un point (**B**) situé à une profondeur (**h**) d'un liquide est égale à celle existant en (**A**) augmentée du poids de la colonne de fluide de hauteur (**h**) et de section égale à l'unité de surface (**1 m²**).

On généralise et on dit : La différence de pression (ΔP) entre deux points (A) et (B) d'un même liquide homogène en équilibre situés à des profondeurs différentes est égale au produit du poids volumique ($\rho \times g$) du liquide par la différence de profondeur (Δh) entre ces deux points.



$$[\Delta P = P_B - P_A = \rho \times g \times (\Delta h)] \rightarrow \frac{\Delta P}{\Delta h} = \rho \times g$$

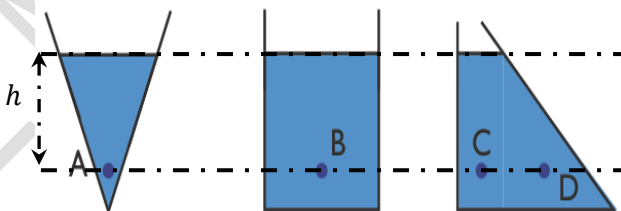
4.4.2.3 Troisième Loi De L'hydrostatique (Isobare) : Tous les points d'un **même fluide** situés dans un même plan horizontal seront soumis à la même pression, quelle que soit la forme du récipient.

4.4.3 Forme Différentielle De La Loi Fondamentale De L'hydrostatique : sous sa forme la plus générale, l'équation qui régit l'évolution de la pression dans un fluide homogène et incompressible est donnée par :

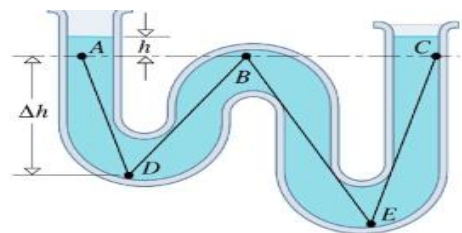
$$\frac{d(P)}{d(z)} = \rho \times g = \text{Cste} \quad \left\{ \begin{array}{l} d(P) : \text{représente la variation de la pression.} \\ d(z) = d(h) : \text{représente la variation de la profondeur} \end{array} \right.$$

4.4.4 Conséquences De La Loi Fondamentale De L'hydrostatique :

a) La pression en tout point de même profondeur (ou altitude) **est constante**. Elle est indépendante de la forme du récipient.



Exemple (1)



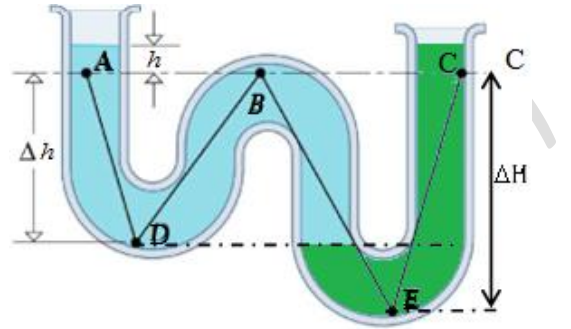
Exemple (2)

Dans l'exemple (1), les points (A), (B), (C) et (D) se trouvent à la même profondeur, ils seront tous soumis à la même pression, quel que soit la forme du récipient.

Dans le deuxième exemple, on peut dire que les points **(A), (B) et (C)** seront soumis à la même pression car ils se trouvent à la même profondeur. Alors que les points (D) et (E) ne seront pas soumis à la même pression, car ils ne trouvent sont pas à la même profondeur.

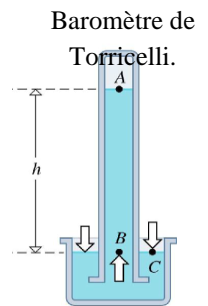
Tous les points qui se trouvent sur la même profondeur définissent une **Isobare**, à condition que les surfaces libres des liquides soient surmontés de l'atmosphère.

b) Dans le cas de deux liquides différents non miscibles et de masses volumiques différentes, la surface de séparation des deux liquides est horizontale. Le liquide le plus dense est surmonté par le moins dense. En particuliers, si le liquide le moins dense est surmonté d'un gaz (comme dans le cas de l'atmosphère), la surface libre sera aussi horizontale.



4.5 Application De La Loi Fondamentale De L'hydrostatique :

4.5.1 Mesure De La Pression Atmosphérique : Dans le tube de **Torricelli**, L'action de la pression atmosphérique au point (C) sera équilibrée par la réaction du poids du mercure se trouvant dans le tube au niveau du point (B). La hauteur (h) mesurée vaut ($h = 76 \text{ cm de Hg}$). Déterminons la valeur de la pression atmosphérique.



Le point (C) subit la pression atmosphérique, ce qui donne : ($P_C = P_{\text{Atm}}$).

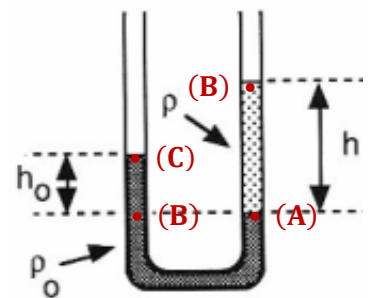
Le point (B) est surmonté d'une colonne de mercure sur une hauteur ($h = 76 \text{ cm}$). La pression au point (B) sera donc donnée par l'expression : ($P_B = \rho_{\text{Hg}} \times g \times h$)

Les points (B) et (C) se trouvent sur la même horizontale, ils seront soumis à la même pression, car ils sont en équilibre. On peut donc écrire que :

$$P_C = P_B \rightarrow P_{\text{Atm}} = \rho_{\text{Hg}} \times g \times h = 13,6 \times 10^3 \times 9,81 \times 0,76 \rightarrow \boxed{P_{\text{Atm}} = 1,013 \times 10^5 \text{ (Pa)}}$$

4.5.2 Mesure De La Masse Volumique D'un Liquide Inconnu :

Dans un tube en (U) contenant initialement un liquide de masse volumique connue (ρ). On verse un liquide de masse volumique (ρ_0) inconnue dans la branche de gauche. Connaissant les hauteurs (h) et (h_0), donner la relation qui permet de calculer la masse volumique du liquide inconnu. (Voir le schéma)



Les points (A) et (B) se trouvent sur la même horizontale, ils sont soumis à la même pression. On peut donc écrire que :

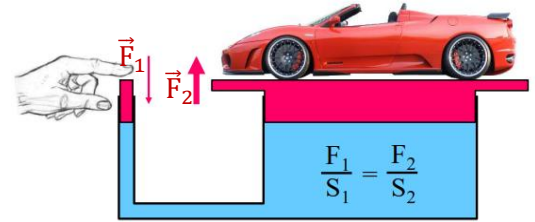
$$P_A = P_B \text{ avec : } \begin{cases} P_A = P_{\text{atm}} + \rho \times g \times h \\ P_B = P_{\text{atm}} + \rho_0 \times g \times h_0 \end{cases} \rightarrow P_{\text{atm}} + \rho \times g \times h = P_{\text{atm}} + \rho_0 \times g \times h_0$$

$$\text{On déduit que : } \rho \times h = \rho_0 \times h_0 \rightarrow \boxed{\rho_0 = \rho \times \frac{h}{h_0}}$$

4.5.3 Vérin Hydraulique :

Le principe de presse hydraulique, freinage de voiture... est basé sur la loi fondamentale de l'hydrostatique (voir le schéma ci-contre). La force (\vec{F}_1) exercée sur le petit piston de surface (S_1) crée une surpression qui est intégralement transmise au gros piston de surface (S_2). Le rapport des forces est égal au rapport des surfaces des cylindres correspondants.

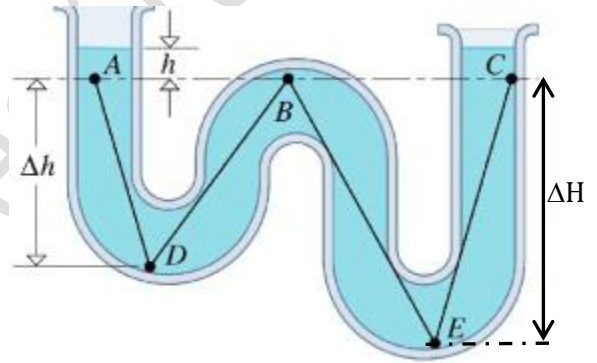
$$\frac{|\vec{F}_1|}{S_1} = \frac{|\vec{F}_2|}{S_2}$$



La force (\vec{F}_2) engendrée dans le gros piston peut être très importante et permet de soulever des charges très lourdes.

4.5.4 Principe Des Vases Communicant :

4.5.4.1 Exemple 1 : Un tube en (U) rempli d'un même liquide de masse volumique (ρ_1) est soumis à la pression atmosphérique, voir schéma ci-contre.



a- En utilisant la loi fondamentale de l'hydrostatique, donner l'expression de la pression au point (B) en fonction de la pression atmosphérique et de la hauteur (h).

b- Même question pour les points (D) et (E).

Réponse :

a) Les points (A), (B) et (C) seront soumis à la même pression car ils se trouvent sur la même profondeur (h).

$$P_B = P_A = P_C = P_{\text{atm}} + \rho_1 \times g \times h$$

b) La pression au niveau du point (D) est donnée par :

$$P_D = P_A + \rho_1 \times g \times \Delta h \rightarrow P_D = P_{\text{atm}} + \rho_1 \times g \times h + \rho_1 \times g \times \Delta h$$

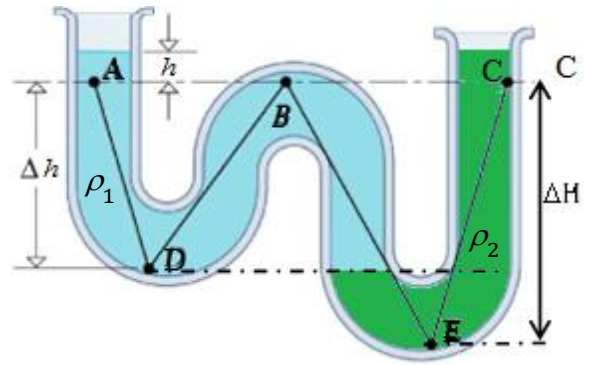
$$P_D = P_{\text{atm}} + \rho_1 \times g \times (h + \Delta h)$$

c) La pression au niveau du point (E) sera donnée par :

$$P_E = P_C + \rho_1 \times g \times \Delta H \rightarrow P_E = P_{\text{atm}} + \rho_1 \times g \times h + \rho \times g \times \Delta H$$

$$P_E = P_{\text{atm}} + \rho_1 \times g \times (h + \Delta H)$$

4.5.4.2 Exemple 2 : On verse dans le tube de droite un autre liquide de masse volumique (ρ_2) non miscible avec le premier, on supposant que les deux surfaces libres sont soumises à la pression atmosphérique voir le schéma ci-contre.



a- Déterminer l'expression de la pression au point (E) en fonction de (ρ_1 , ρ_2 , h , Δh , et ΔH).

Réponse :

Le point (E), sera soumis à l'action du deuxième fluide se trouvant du côté droit et sa pression sera donnée par :

$$\begin{cases} P_A = P_{\text{atm}} + \rho_1 \times g \times h \\ P_A = P_C \\ P_E = P_C + \rho_2 \times g \times \Delta H \end{cases} \rightarrow \boxed{P_E = P_{\text{atm}} + \rho_1 \times g \times h + \rho_2 \times g \times \Delta H}.$$

Le point (E), sera soumis à l'action des deux fluides se trouvant du côté gauche et sa pression sera donnée par :

$$\text{ou bien : } \boxed{P_E = P_{\text{atm}} + \rho_1 \times g \times (h + \Delta h) + \rho_2 \times g \times (\Delta H - \Delta h)}.$$

4.5.5 Mesure De La Pression D'un Gaz Emprisonné Dans Une Enceinte Renfermée.

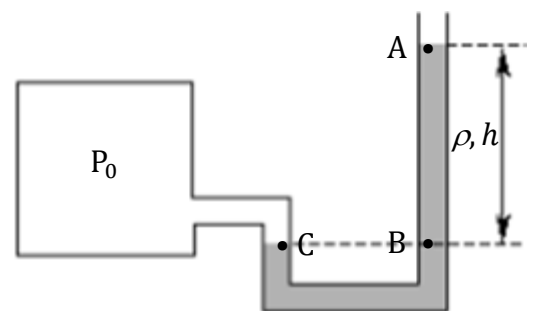
En utilisant la loi fondamentale de l'hydrostatique, déterminer la pression (P_0) qui règne à l'intérieur de l'enceinte, voir le schéma ci-contre.

Réponse :

Le système étant en équilibre, les points (B) et (C) appartiennent à la même horizontale (isobare), ils seront soumis à la même pression.

$$P_B = P_C$$

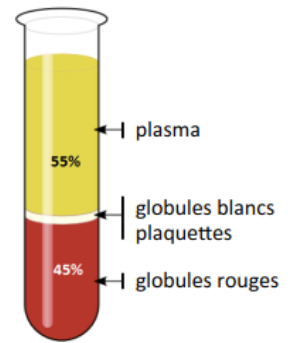
Le point (C) subit d'un côté la pression du gaz, et de l'autre la pression qui est due au liquide de masse volumique (ρ) sur une hauteur (h).



$$\text{Donc : } \begin{cases} P_C = P_0 \\ P_B = P_A + \rho \times g \times h \end{cases}; \text{ avec } P_A = P_{\text{atm}} \rightarrow \boxed{P_0 = P_{\text{atm}} + \rho \times g \times h}$$

4.6 Applications Cliniques :

Le tube en (U) de la figure ci-contre illustre que le sang est un liquide complexe. Il est composé approximativement de (55%) de plasma de faible densité, de (5%) de globules blancs et de plaquettes, et de (45 %) de globules rouges, plus dense.



4.6.1 Bases De Mesure Des Pressions Sanguines :

Elle est souvent **appelée tension artérielle (à tort)**. Le terme d'hypertension artérielle est d'ailleurs rentré dans le langage courant alors que l'on devrait parler de **pression artérielle**.

Généralement on mesure la pression sanguine au niveau du bras pour deux raisons. La première est que le bras contient un seul os (l'humérus), ce qui n'empêche pas de comprimer à volonté l'artère humérale (brachiale). La seconde raison est que le bras et le cœur se trouve approximativement à la même horizontale, on peut lui appliquer la loi fondamentale de l'hydrostatique.

Elle est mesurée à l'aide d'un manomètre à colonne de liquide. Deux liquides différents seront utilisés pour la mesurer.



➤ **(Pression Veineuse) :** La pression veineuse étant **relativement basse**, pour la mesurer on utilise des manomètres à eau.

➤ **(Pression Artérielle) :** Les pressions artérielles seront mesurées avec des manomètres à mercure qui est plus dense que l'eau, car sa valeur est relativement importante.

4.6.1.1 La Pression Artérielle :

4.6.1.1.1 Définition : La pression artérielle est la pression statique exercée par le sang sur la paroi des artères. Elle a la même valeur dans toutes les directions, en particulier sur les parois latérales de l'artère et est appelée aussi **Pression Transmurale**.

Habituellement on mesure **l'excès de pression** au niveau des cavités gauches de la pompe cardiaque par rapport à la pression tissulaire externe supposée égale à la pression atmosphérique.

Cette pression est indiquée par **deux valeurs** successives mesurées avec **un manomètre à mercure**. La pression **Systolique** suivie de la pression **Diastolique**.

Les valeurs d'un sujet normal (pas de pathologie) obtenues au repos se situent entre :

- a) **Une valeur maximale (La Pression Systolique) :** notée aussi (**PAS**) et elle représente la pression maximale au moment où le cœur se contracte (**Systole**), sa valeur pour un sujet normal est de l'ordre de (**12 cm de Hg**).
- b) **Une valeur minimale (La Pression Diastolique) :** notée (**PAD**) et représente la pression du sang au moment du relâchement du cœur (**Diastole**), elle est de l'ordre de (**8 cm de Hg**).

c) **Pression Artérielle Moyenne** : notée **PAM** est une pression théorique, équivalente à celle qui assurerait un débit sanguin identique tout au long des cycles cardiaques, pour la calculer on utilise généralement l'approximation suivante :

$$\text{PAM} = \frac{\text{PAS} + 2 \times \text{PAD}}{3}$$

4.6.1.1.2 Principe De Mesure De La Pression Artérielle :

La pression du sang qui circule dans l'**artère humérale** (brachiale) est **très proche** de celle qui se trouve dans les **cavités cardiaques gauches**. Et toute variation de cette dernière est ressentie instantanément au niveau de l'artère.

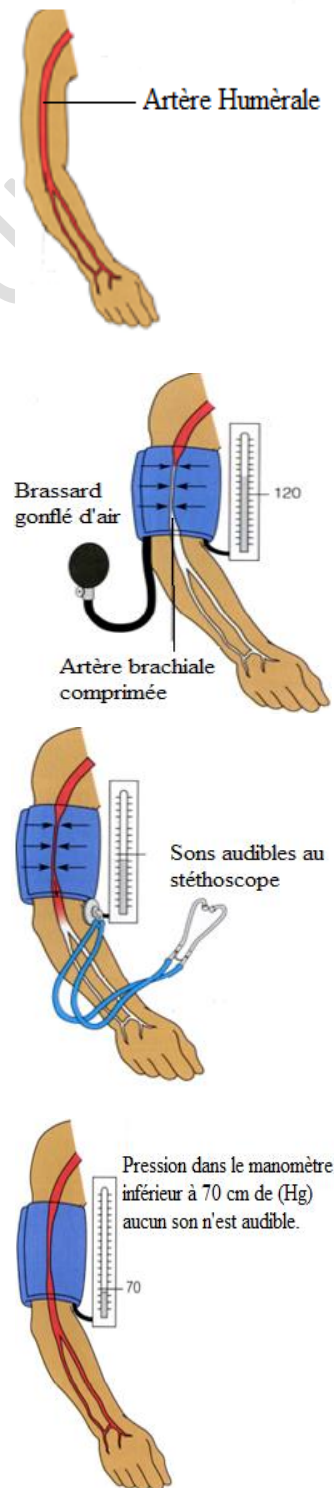
Les étapes à suivre sont les suivantes :

a) À distance de tout excitant à savoir le thé, le café, la cigarette..., le patient doit être au repos pendant au minimum dix minutes. En position **semi assise** ou **couché**, le bras du patient doit être au même niveau du cœur. On pose le brassard à la position adéquate, ensuite on place le **stéthoscope** au niveau de l'artère humérale pour mesurer la tension artérielle.

b) On gonfle le brassard graduellement jusqu'à faire **augmenter la pression dans le manomètre** à une valeur approximative de (15 cm) de mercure (Hg). La pression que va exercer le brassard sur le bras comprime l'artère et empêche le sang de s'écouler. **Dans cette situation aucun son n'est audible.**

c) Ensuite on **dégonfle le brassard graduellement** afin de libérer l'artère et de laisser le sang s'écouler au travers de celle-ci. **Le premier son audible** correspond à la (PAS) que l'on peut lire directement sur le manomètre de mesure.

d) On laisse le brassard se dégonfler, pour libérer complètement l'artère, le stéthoscope nous permet d'entendre des sons dont l'intensité diminue, et **le dernier son audible** correspond à la (PAD).



Si la pression mesurée ne se trouve pas dans la fourchette normalisée, le sujet présente une pathologie.

4.6.1.2 La Pression Veineuse :

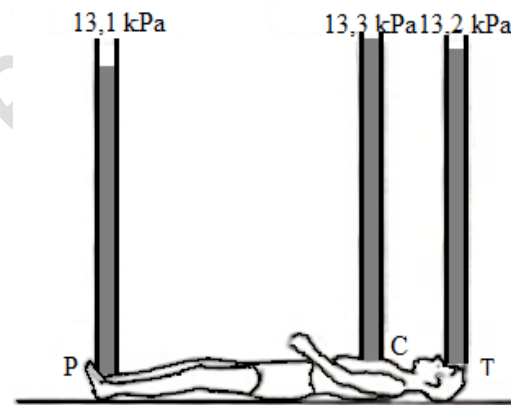
La pression veineuse centrale ($< 1 \text{ kPa}$) se mesure par cathéter veineux au niveau de l'oreillette **DROITE**. Elle représente l'excès de la pression statique du sang mesurée au niveau d'une veine, sa valeur est très faible, on utilise **des manomètres à eau** pour la mesurer car sa valeur est faible, de l'ordre de ($10 \text{ cm de H}_2\text{O}$).

4.6.1.3 Estimation De La Pressions En Fonction De La Position Du Sujet.

La pression artérielle varie en fonction de l'altitude. Lorsqu'on la mesure au niveau de l'artère humérale, celle-ci est très proche de celle qui se trouve au niveau des cavités gauches de la pompe cardiaque. Pour un sujet normal, sans pathologie, elle est de l'ordre de ($P_C = 13,3 \cdot 10^3 \text{ Pa}$). Celle-ci diminue au niveau de la tête du sujet, et augmente au niveau de ses pieds.

En **utilisant la loi fondamentale de l'hydrostatique**, la pression d'un sujet peut être estimée au niveau de sa tête et au niveau de ses pieds en fonction de la pression (P_C) du sang au niveau des cavités cardiaques gauches.

4.6.1.3.1 Sujet allongé : La pression hydrostatique est **approximativement identique** au niveau de tout le corps du sujet allongé. Sa valeur est de l'ordre de ($13,3 \cdot 10^3 \text{ Pa}$) au niveau des cavités gauches cardiaque, de l'ordre de ($13,2 \cdot 10^3 \text{ Pa}$) au niveau de sa tête et de l'ordre de ($13,1 \cdot 10^3 \text{ Pa}$) au niveau de ses pieds. Cette **légère différence** est due à la **viscosité du sang (perte de charges)** que l'on va aborder et détailler dans le chapitre de l'hydrodynamique.



4.6.1.3.2 Pression Artérielle Au Niveau Des Pieds D'un Sujet Debout : La valeur de la pression artérielle au niveau des pieds (P_P) d'une personne debout est pratiquement le double de la valeur de la pression au niveau des cavités cardiaque (P_C). Cette augmentation est due à l'effet de la pesanteur. En effet, en utilisant la loi fondamentale de l'hydrostatique on retrouve :

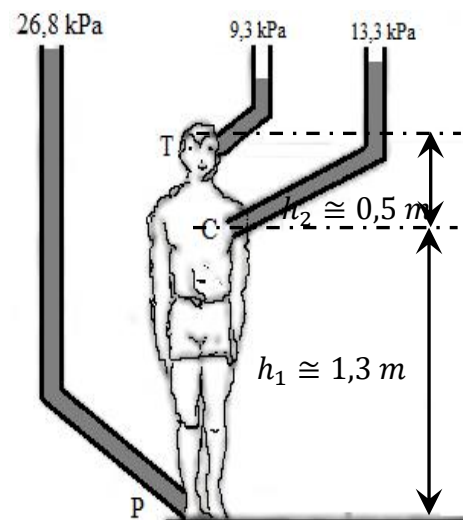
$$P_P = P_C + \rho_S \times g \times h_1 \text{ Avec :}$$

$$\begin{cases} P_P: \text{pression au niveau des pieds.} \\ P_C: \text{pression au niveau du coeur.} \\ \rho_S: \text{masse volumique du sang.} \end{cases}$$

Si l'on suppose que la masse volumique du sang est égale à ($\rho_S = 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$) et que la hauteur séparant le cœur des pieds du sujet

est de ($h_1 \cong 1,3 \text{ m}$), on considérant l'accélération de la gravité ($g \cong 9,81 \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$) on retrouve :

$$P_P = 13,3 \cdot 10^3 + 10^3 \times 9,81 \times 1,3 \rightarrow \boxed{P_P \cong 26 \text{ kPa}}$$



4.6.1.3.3 Pression Artérielle Au Niveau De La Tête D'un Sujet Debout : Au niveau de la tête du sujet, celle-ci (P_T) est plus faible que la pression artérielle au niveau des cavités cardiaques. La pression hydrostatique **augmente avec la profondeur**, et **diminue avec l'altitude**.

$$P_T = P_C - \rho_S \times g \times h_2 \text{ Avec : } \begin{cases} P_T: \text{pression au niveau de sa tête.} \\ P_C: \text{pression au niveau du coeur.} \\ \rho_S: \text{masse volumique du sang.} \end{cases}$$

Si l'on suppose que la hauteur séparant le cœur de sa tête ($h_2 \cong 0,5 \text{ m}$), on retrouve :

$$P_T = 13,3 \cdot 10^3 - 10^3 \times 9,81 \times 0,5 \rightarrow \boxed{P_T \cong 8,4 \text{ kPa}}$$

4.6.1.3.4 Variation De La Pression Artérielle En Fonction De L'accélération (g) : Lorsque l'accélération de la gravitation varie rapidement lors d'un réveil rapide ou lors des entraînements des pilotes dans les accélérateur d'essais, etc... On définit ce que l'on appelle l'effet de l'accélération. La pression au niveau des pieds augmente considérablement, celle de la tête diminue et peut avoir des **valeurs négatives**.

- Si l'on **double** la valeur de la gravité ($g' = 2 \times g$) :
 - La pression au niveau des pieds (P'_p) sera :

$$P'_p = 13,3 \cdot 10^3 + 10^3 \times 2 \times 9,81 \times 1,3 \rightarrow \boxed{P'_p \cong 38,8 \text{ kPa}}$$
 - Alors que la pression au niveau de la tête (P'_T) du patient sera :

$$P'_T = 13,3 \cdot 10^3 - 10^3 \times 2 \times 9,81 \times 0,5 \rightarrow \boxed{P'_T \cong 3,5 \text{ kPa}}$$
- Si l'on **triple** la valeur de la gravité ($g'' = 3 \times g$), c'est ce que l'on appelle **le piquet d'avion**:
 - La pression au niveau des pieds (P''_p) sera :

$$P''_p = 13,3 \cdot 10^3 + 10^3 \times 3 \times 9,81 \times 1,3 \rightarrow \boxed{P''_p \cong 51,6 \text{ kPa}}$$
 - Alors que la pression au niveau de la tête (P''_T) du patient sera :

$$P''_T = 13,3 \cdot 10^3 - 10^3 \times 3 \times 9,81 \times 0,5 \rightarrow \boxed{P''_T \cong -1,4 \text{ kPa}}$$

La pression sanguine au niveau de la tête d'un sujet (pilote de chasse par exemple), soumis à des accélérations dont la valeur est **supérieure au triple** de la valeur de gravitation ($g' > 3 \times g$), sera négative. C'est-à-dire qu'il n'y aura pas de sang qui va alimenter son cerveau. Il peut voir apparaître un voile noir, ce que l'on appelle le **Black-Out**.

Les personnes soumises à de grande accélération doivent porter des tenues dont l'équipement est généralement appelé (*anti - g*). Ces tenues sont équipées dans le but de minimiser le **Black-Out**, elles exercent sur la peau du pilote une pression supérieure à la pression atmosphérique.

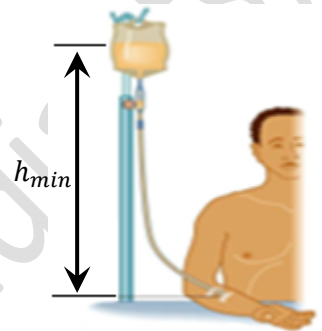
4.6.2 Hauteur Minimale Et Maximale De La Transfusion :

Lors d'une transfusion quelconque, le flacon (poche plastique) doit se trouver à une **hauteur optimale**. De tel sorte que la pression exercée par le liquide à transfuser au niveau de la veine, soit légèrement supérieur à la pression interne veineuse qui est de l'ordre de (2 Kpa \cong 15 mm Hg) . Si la pression exercée par le fluide d'une perfusion est inférieur à la pression veineuse, le liquide ne va pas s'écouler dans la veine, **au contraire** c'est le sang qui va s'écouler dans le tubule vers la poche (**phénomène de reflux**).



$$\rho_l \times g \times h_{min} \geq P_v \rightarrow h_{min} \geq \frac{P_v}{\rho_l \times g} \rightarrow \boxed{h_{min} \geq 20 \text{ cm}}$$

La poche doit donc être placée à une hauteur d'au moins (20 cm) au-dessus de l'aiguille de perfusion afin d'exercer une pression supérieur à (2 Kpa).



4.6.3 La Pression Du Liquide Céphalo-Rachidien (LCR), Ou Cérébro-Spinal (LCS):

Le (**LCR**) est un liquide biologique transparent dans lequel baigne le cerveau et la moelle osseuse. Il est le reflet de la pression intra cérébrale.

Les pressions du (**LCR**) et du (**LPS**) sont proches de la pression veineuse, elles se mesurent avec un manomètre à eau, via une ponction lombaire. La pression statique mesurée au niveau du ((**LCR**)) est de l'ordre de (10 cm d'eau), soit (1 kPa).

Une hypertension intracrânienne (cas d'un hématome sous-dural) se traduit par l'augmentation de la pression à l'intérieur du crâne ce qui peut entraîner un engagement cérébral. C'est-à-dire que le lobe temporel peut glisser dans le trou formé par la fente du cervelet et vient compresser le tronc cérébral.

4.6.4 La Pression Intra Oculaire (PIO):

La stabilité de la pression intraoculaire est assurée par l'équilibre de la production de l'humeur aqueuse, qui apporte les nutriments nécessaires à l'iris au cristallin et à la cornée, et de son évacuation en dehors de l'œil à travers un filtre (Trabéculum).

Un défaut d'évacuation de l'humeur aqueuse entraîne une élévation de la pression intraoculaire (**PIO**). Lorsque la pression (**PIO**) est trop élevée et dépasse le seuil de (21 mm Hg), l'arrière de l'œil se comprime, cette compression entraîne une destruction des fibres du nerf optique (**Glaucome**).

La pression intraoculaire est exprimée en **millimètres** de mercure, sa valeur moyenne est de (15.5 mm de Hg). On peut l'évaluer grâce à un jet d'air indolore lancé par un appareil directement sur l'œil qui consiste (après instillation d'un collyre anesthésiant et d'un collyre colorant) à poser un appareil sur la cornée en exerçant une légère pression dessus.