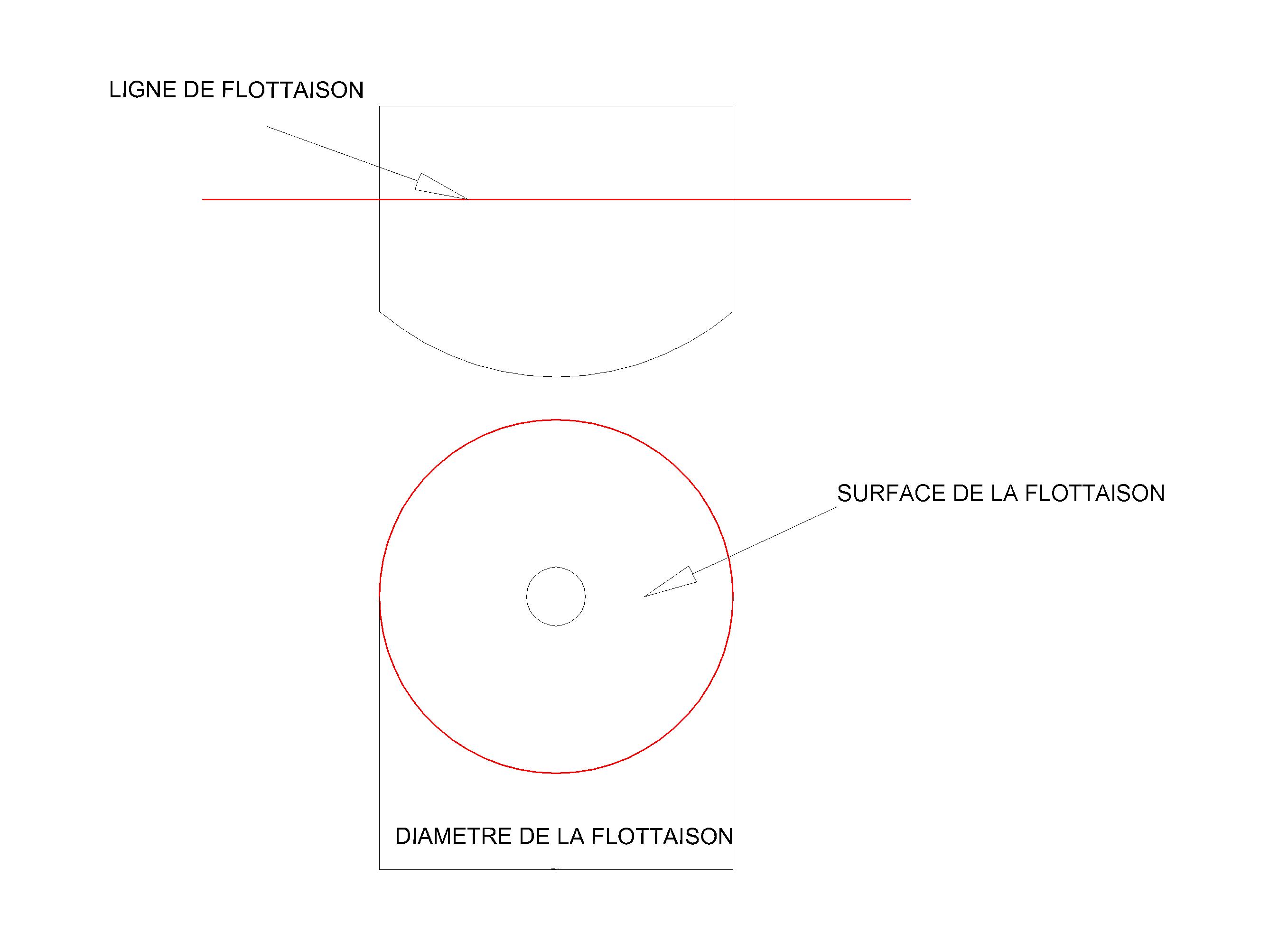
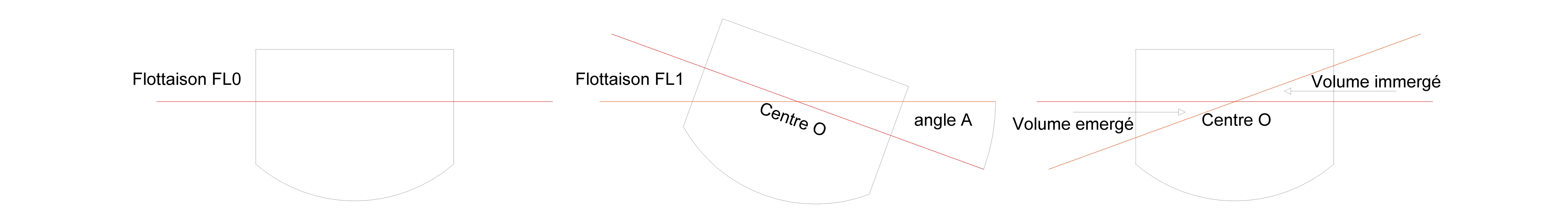
|  |  |
| --- | --- |
| **La stabilité des Bouées à l'état intact.** | **Buoyancy and stability for Aids to Navigation Buoys** |
| Brouillon n°4 | Draft n°4 |

|  |  |
| --- | --- |
| **I - Introduction :** | **I - Introduction :** |
| Le présent document a pour but de présenter l'étude de la stabilité des bouées. | This paper aims to present the stability study of buoys. |
| L'étude de la stabilité des bouées s'inspire de celle des navires et plus particulièrement de la résolution A.749(18) "recueil de règles de stabilité à l'état intact pour tous les types de navires visés par les instruments de l'OMI". | The stability study is based on the usual theory for stability that may be found in text books on naval architecture. |
| La stabilité à l'état intact signifie que le flotteur de la bouée ne subit aucun envahissement (pas d'avarie). | DELETE |
| Pour les calculs, l'étude de la stabilité s'appuie sur le théorème d'Euler. | DELETE |
| La bouée est considérée comme libre à la surface de l'eau. | The buoy is considered to be floating freely on the water surface. |
| Or, dans la réalité, elle est amarrée par une ligne mouillage. | In reality, it is connected by a mooring line to a sinker or anchor. |
| Dans l'étude qui suit, on considèrera la bouée libre et la ligne de mouillage comme une masse ponctuelle appliquée au point d'amarrage de la bouée. | In the following study, we consider that the buoy is free floating and the mooring line is an added mass point applied at the point of attachement of the mooring . |

|  |  |
| --- | --- |
| II - Définition - Unités - Notation | II - Definition - Units - Notation |
| Flotteur : pour les bouées, le flotteur est un volume fermé de toutes parts assurant la flottabilité de la bouée sur l'eau. | Float: the body of the buoy forms a closed volume that provides the buoyancy of the buoy when immersed in water. |
| C'est généralement un cylindre de révolution. | This is usually a cylinder and is treated as such in the following calculations. |
| Il porte en sa partie supérieure la marque de jour et en sa partie inférieure la structure porte lest ou une jupe. | The float carries the day mark and the tail tube or skirt. |
| Ligne de flottaison FLi : La ligne de flottaison désigne la ligne qui sépare la partie immergée du flotteur de celle qui est émergée. | Waterline FLi : The waterline is the line between the submerged part of the float and the part of the float out of the water. |
| Diamètre de la flottaison D : (m) diamètre mesuré au niveau de la ligne de flottaison. | Diameter of the waterline D: (m) diameter measured at the waterline. |



|  |  |
| --- | --- |
| Surface de flottaison Sf : (m2) Surface comprise à l'intérieur de la ligne de flottaison, dans le plan de la surface libre.   * Pour un cercle : Scercle = 1/4 \*  \* D2 * Pour une ellipse : Sellipse = 1/4 \*  \* D \* d * D : grand diamètre (m) * d : petit diamètre (m) | Flotation surface Sf: (m2) area of the plane formed by the waterline of the buoy. Usually 'water plane ' in English.  NOTE. The area of any tube passing through the float and open to the surrounding water must be subtracted. |
| Inertie de surface de flottaison If : (m4) Le moment d'inertie de surface de flottaison ou moment quadratique caractérise l’aptitude d’une section à tourner autour d’un axe :  - plus le moment quadratique est grand, plus la section a du mal à tourner autour de l’axe,  - plus l’axe s’éloigne du centre de gravité, plus le moment quadratique est grand.  On considere pour notre etude, que les axes passent par le centre de flottaison.   * *Pour un cercle : If = 1/64 \*  \* D4* * *Pour une couronne: If = 1/4 \*  \* (R4 - r4)* * *Pour une ellipse : If = 1/64 \*  \* b \* h3* | Inertia of flotation surface (water plane) If: (m4) The moment of inertia of the flotation surface , characterizes the energy needed to rotate the surface around an axis.  In the following study, we consider that the axes pass through the center of the flotation surface. |
| Flottaison isocarène : Lorsque le flotteur est incliné d'un angle , les volumes immergés et émergés sont identiques.  Il n'y a pas de modification de l'intensité de la Poussée d'Archimède.  L'intersection de deux flottaisons isocarènes infiniment voisines passe par le centre de flottaison de chacune de ces flottaisons. | Flotation of a single symmetrical hull: When the float of the buoy is inclined at an angle , the volumes of the submerged and the emerged segments are equal.  The displacement of the buoy does not change.  The intersection of the submerged and emerged segments passes through the centre of the flotation surface. |
| Centre de flottaison O : Centre commun à toutes les flottaisons isocarènes. | Center of flotation O: Center of the plane of floatation |

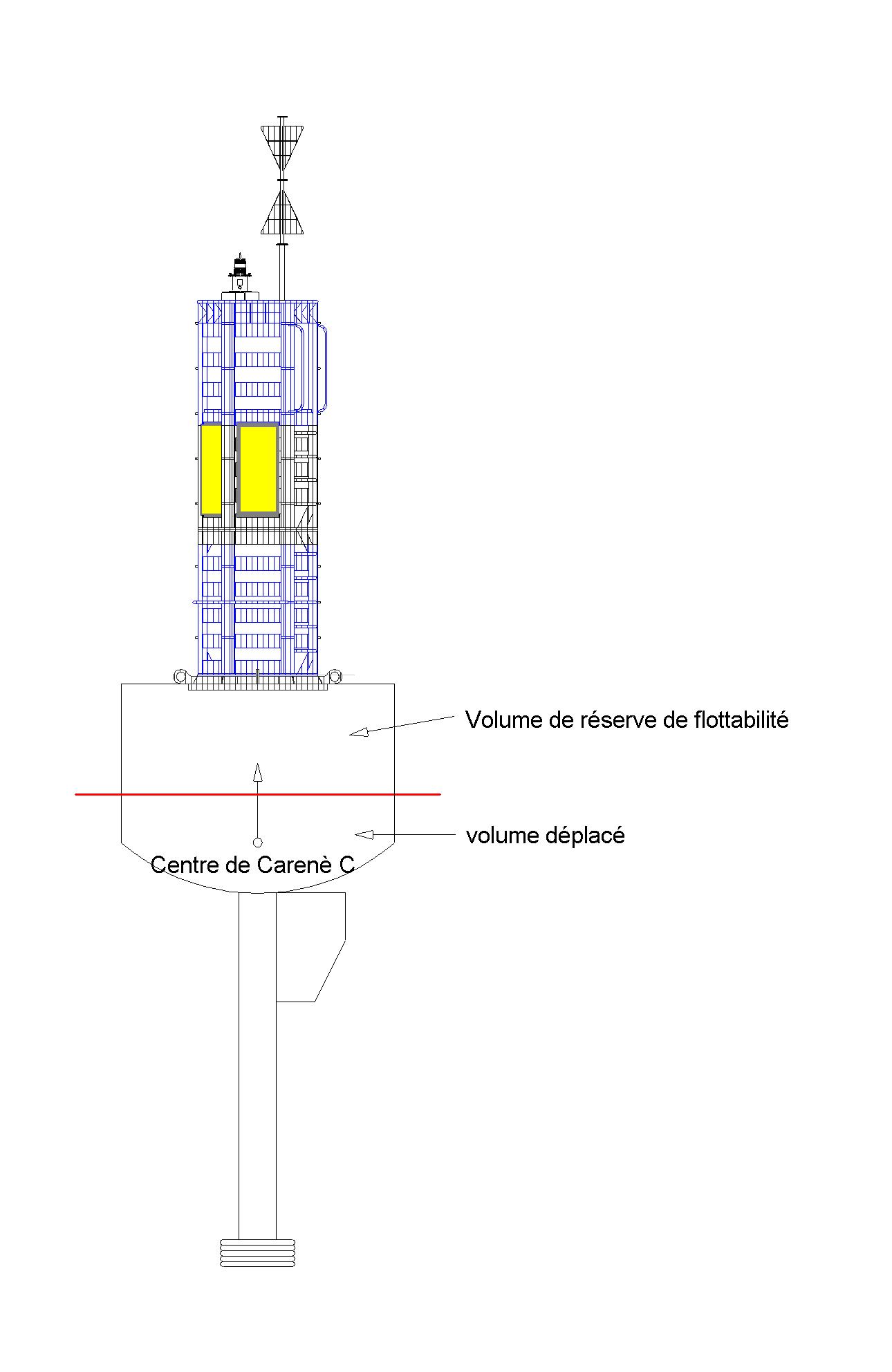


|  |  |
| --- | --- |
| Poids P: (en N) est la force verticale de pesanteur dirigé vers le bas, exercée sur la bouée.  **P= M \*g** = ** mi \*g** | Weight P: (N) is the vertical force of gravity downwards, applied on the buoy.  **P= M \*g** = ** mi \*g** |
| Centre de Gravite CDG : c’est le point d’application du poids total (P) de la bouée, poids résultant des forces de gravité ou de pesanteur de chaque partie constituant la bouée.  Les composantes dans un repère galiléen (o, x, y, z) sont : | Centre of Gravity CDG: It is the application point of overall weight (P). The weight of buoy results from the weight sum of each components of the buoy.  The force of gravity could be divided in a Galilean frame (o, x, y, z):DELETE THIS LINE ? As most buoys are symmetrical about their vertical axis only the 'x' needs to be considered. |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **XCDG =  xi \* dmi**  **M** | **YCDG =  yi \* dmi**  **M** | **ZCDG =  zi \* dmi**  **M** |

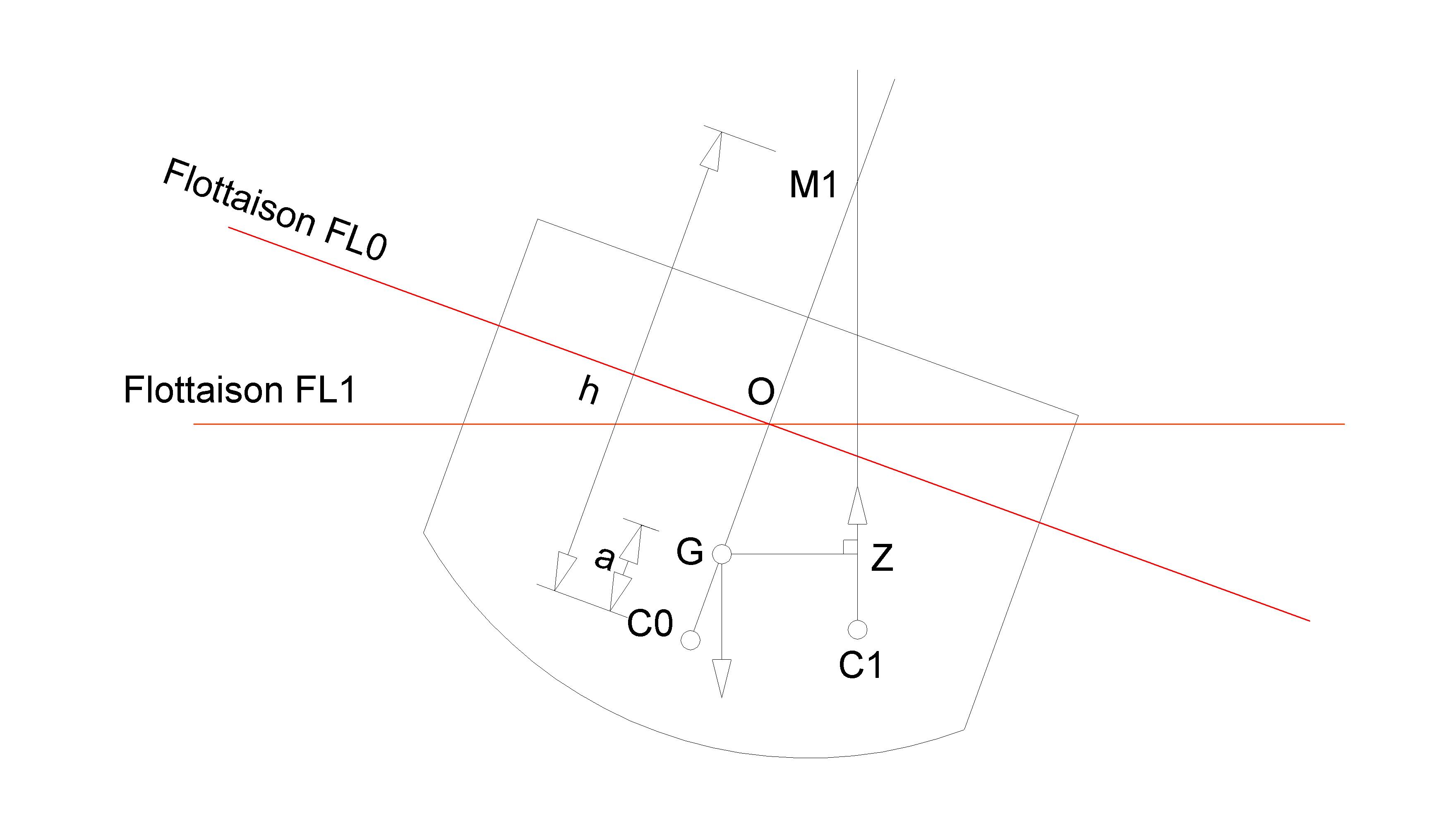
|  |  |
| --- | --- |
| Déplacement Δ : (en kg). Produit du volume de la carène par le poids spécifique du liquide.  Δ = Vd \*  | Displacement Δ : (in kg) Multiplication of the total volume displaced by the buoy by the specific weight of water.  Δ = Vd \*  |
| Volume déplacé Vd : (m3) appelé volume de carène. Partie immergée du flotteur de la bouée limité au plan de flottaison.  A l’équilibre  Fext = 0  Soit poids total + poussée d’Archimède = 0  P - π = 0  [M \* g] – [ Vd \*  \* g] = 0  D’où Vd = m    avec  m : masse totale de la bouée   = densité de l’eau de mer: 1 025 kg/m3 | Displaced volume Vd : (m3), Submerged part of the buoy limited by the water line. |
| Volume de réserve de flottabilité Rf : (m3) Volume supplémentaire du flotteur, évitant que la bouée ne coule, si celle-ci subit des efforts de la ligne de mouillage ou bien si la bouée reçoit des poids supplémentaires (équipements par exemple).  Volume du flotteur = Volume réserve flottabilité + Volume déplacé  V = Rf + Vd  soit  Rf = V - Vd | Volume of reserve buoyancy Rf : upper volume of the float that is above the water line. This will prevent the buoy sinking if additional equipment is added or there is an increase in mooring loads. |
| Centre de Carène CDC : Centre géométrique du volume d’eau déplacé par la carène.  C’est le point d’application de la résultante des forces de flottabilité du flotteur où s’exerce la poussée d’Archimède. La position du centre de carène varie selon la charge, la gîte et les mouvements de la bouée. | Center of Buoyancy CDC: Geometric center of the displaced volume of water.  It is the application point of the buoyancy forces.  The position of the center varies with loads, roll and other movements of the buoy. NOTE PROBABLY ONLY NEED TO CONSIDER 'x' AXIS |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| XCDC =  xi \* dvi  V | YCDC =  yi \* dvi  V | ZCDC =  zi \* dvi  V |



|  |  |
| --- | --- |
| Poussée d'Archimède π : La poussée d'Archimède est la force exercée par l'eau et appliquée sur la partie du flotteur immergé. Cette force provient de l'augmentation de la pression du liquide. La pression étant plus forte sur la partie inférieure d'un objet immergé que sur sa partie supérieure, il en résulte une poussée globalement verticale orientée vers le haut.  **Définition : « Tout corps plongé dans un fluide au repos, subit une force verticale, dirigée de bas en haut et opposée au poids du volume de fluide déplacé ; cette force est appelée poussée d'Archimède. »**  π = Vd \* \* g  π = m\* g | Buoyant force π : The buoyant force is the force applied to the portion of the submerged float, due to the displacement of water. This force comes from the increase of the fluid pressure.  As pressure is greater on the lower part of a submerged object than on its top, the buoyant force is a vertical thrust directed upwards.  **Definition: "An immersed body in a fluid undergoes a vertical force directed upwards and opposite to the displaced fluid weight.**  π = Vd \* \* g  π = m\* g  NOTE Should we use a different symbol ? This may create confusion with area and volume calculations. |
| Poids spécifique de l'eau de mer  : Ce poids est variable et est fonction :   * de la température * de la salinité * de la pression   En règle générale, on retient la valeur moyenne du poids spécifique de l'eau de mer   * *dans l'atlantique nord à 1 025 kg / m3.* * *en Méditerranée à 1 028 kg / m3.* * *en embouchure d'estuaire 1 000 kg / m3 à 1 015 kg / m3.* | Density of water : This density depends on:   * temperature * Salinity * pressure   Typically, we retain the average value of density of seawater   * *north Atlantic seas at 1025 kg / m3.* * *Mediterranean sea at 1028 kg/m3.* * *estuary waters from 1000 kg/m3 to 1015 kg/m3.* |

|  |  |
| --- | --- |
| **III - Calcul de la stabilité d'une bouée :** | **III -** **Calculation of stability:** |
| Devis masse et Position du Centre de Gravité:  Avant d'effectuer les calculs de stabilité, il convient de réaliser le devis masse de la bouée. Cette opération consiste à faire l'inventaire de tous les équipements constituant la bouée affectés de la position de leur centre de gravité et de leur masse respective.  A l'issu, on obtient la masse totale M de la bouée et la position en X,Y, Z du Centre De Gravite G (noté CDG).  En générale, on fixe le repère orthonormé de référence , au point d'amarrage inférieur. Point K. | Mass balance and position of the centre of gravity :  Before starting the calculation of stability a mass balance should be made by summing all the masses of the component parts and equipment on the buoy and similarly their moments. The position of the center of gravity can then be determined.  Then, we obtain the total mass M of the buoy and the vertical position of the center of gravity G (CDG noted).  In general, we fix the orthonormal reference at the low mooring point, noted point K. NOTE in England we use lowest point of buoy . End of tail tube or base of skirt. As the referance point so that all moments are positive. |
| Volume déplacé : Le volume déplacé correspond au volume de la carène. Il s'obtient en effectuant le rapport de la masse totale de la bouée par le poids spécifique de l'eau de mer.  Ainsi :  Vol dépl. = Masse totale bouée (kg)  Poids spécifique de l'eau de mer (kg/m3)  Vd = m   | Displaced volume: The displaced volume is calculated by dividing the total mass of the buoy by the density of water.  Thus: |
| Vérification de la flottabilité de la bouée :  Il s'agit de s'assurer que la bouée posée sur l'eau ne coule pas ; tel que le volume déplacé soit inférieur au volume total du flotteur de la bouée.  Vd < V  On en déduit le volume de réserve de flottabilité, qui permettra de connaitre le chargement supplémentaire que peut porter la bouée.  Rf = V - Vd  avec  Vd = m     * Si le volume de réserve de flottabilité est positif ( Rf > 0), alors la bouée flotte. * Si le volume de réserve de flottabilité est négatif ( Rf < 0), alors la bouée coule. | Verification of the buoyancy :  This calculation ensures that the buoy doesn't sink. The displaced volume must be less than the total volume of the float.  Vd < V  Thus, we deduce the volume of reserve buoyancy, which allows to know the additional load that the buoy can support.   * If the buoyancy reserve volume is positive (Rf > 0), then the buoy floats. * If the buoyancy reserve volume is negative (Rf  <0), then the buoy sinks. |
| Position du Centre de carène :  A partir du volume déplacé et des caractéristiques géométriques du flotteur de la bouée, on en déduit la position en X,Y, Z du Centre de Carène CDC. | Position of the center of buoyancy :  From the displaced volume and geometric characteristics of the float, we deduce the position in X, of the center of buoyancy CDC. |
| Bras de levier de redressement:  A l'équilibre, la flottaison initiale est FL0. Le centre cd carène est C0.  La bouée s'incline d'un angle  par rapport à sa position d'équilibre et une nouvelle flottaison isocarène FL1 apparait. Le centre de carène se déplace de C0 vers C1.  Soit M1 le point d'intersection avec la droite (C0 G) et la droite verticale passant par C1. Le point M1 est appelé: *point métacentrique.*  La hauteur C0 M1, correspondant à l'inclinaison  est appelé: *hauteur métacentrique.* Elle est noté *"h".*  La distance (C0 G) est désigné par *"a"* et est compté positif (>0) lorsque G est au dessus de C0.  Il apparait alors un moment de redressement m, sous l'inclinaison , tel que:  m = P \* GZ  GZ est le bras de levier de redressement. | Righting arm:  At equilibrium, the initial flotation is FL0. The center of buoyancy is C0.  The buoy leans at an angle compared to its equilibrium position and a new waterline FL1 appears. The center of buoyancy moves from C0 to C1.  M1 is the intersection point with the line (C0 G) and the vertical line passing by C1. The point M1 is called: *metacenter*.  The height C0 M1, corresponding to the angle of heel  is called: *metacentric height. It is noted "h".*  The distance (C0 G) is designated "*a* " and is counted positive (> 0) when G is above C0.  For the angle of heel a righting moment noted m, occurs, such as:  ***m = P \* GZ***  GZ is the righting arm. |

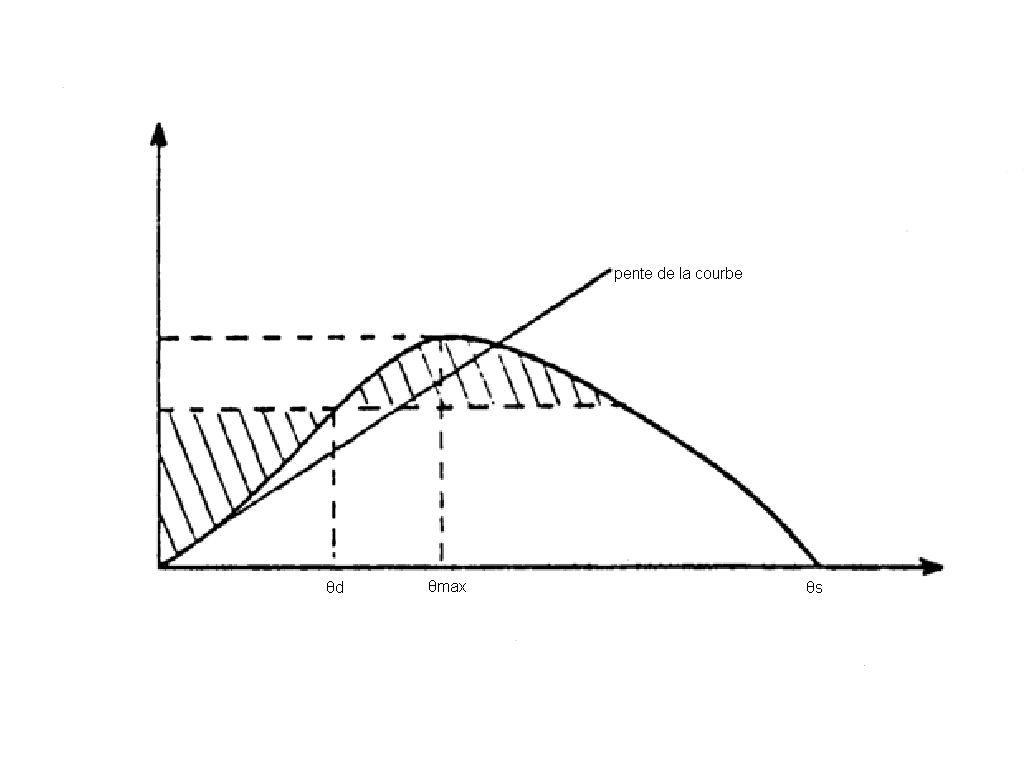


|  |  |
| --- | --- |
| Dans le triangle rectangle en Z,  GZ = GM1 \* sin(  soit  GZ = ( h - a) \* sin(  d'où  m = M\*g \* ( h - a) \* sin(  On en déduit :   * si M1 est au dessus de G, alors ( h - a )>0 et le moment m redresse la bouée. * si M1 est au dessous de G, alors ( h - a )<0 et la bouée chavire. | In the right triangle in Z  We deduce :   * If M1 is above G, then ( h - a ) > 0 and the righting moment m straightens the buoy. (upright position) * if M1 is below G, then (h - a) <0 and the buoy overturns. DELETE DOWN etc |
| **Condition de stabilité : Pour que l'équilibre soit stable, il faut et il suffit que le centre de gravite G soit au dessous du point métacentrique.** | **Stability Condition: The equilibrium is stable when the center of gravity G is below the point metacenter.** |

|  |  |
| --- | --- |
| **IV - Stabilité initiale ou aux petits angles à l'état intact :** | **IV Stability at small angles of heel:** |
| Lorsque l'angle  tend ver 0, alors le point M1 tend vers M, appelé ***Métacentre*** de la flottaison initiale FL0. | When the angle moves from to 0, then the point M1 tends to M, called the metacenter at the initial flotation FL0. |
| La "hauteur métacentrique" noté "h" tend vers ""appelé *rayon métacentrique.* | *The "metacentric height" noted " h " tends toward "* *" called metacentric radius.* |
| Le moment de redressement devient nul : m =  | The righting moment becomes zero : m = 0 |
| La distance GM s'écrit alors :  GM = (  - a ) est le module de stabilité initial. | Then, the distance GM is:  GM = ( - a ) is the modulus of initial stability. |
| Le rayon métacentrique "" s'écrit sous la forme :   = If  Vd  avec  If : Inertie de surface de flottaison en (m4) à l'inclinaison   Vd : volume déplacé (m3) | and the metacentric radius "" is written as:   = If  Vd |
| Stabilité de poids et de forme :  Pour faire varier le moment de redressement m = M\*g \* (  - a) \* sin(, on peut agir soit sur la stabilité de forme ou soit sur la stabilité de poids :   * M\*g \*  est le module de stabilité de forme. * M\*g \* a : est le module de stabilité de poids.   Il est bon de savoir que l'expression du moment de redressement n'est valable que pour les petits angles ;  < 5°.  Stabilité de forme : M\*g \*  est le module de stabilité de forme. Il dépend des formes géométriques du flotteur puisque :   = If  . En effet, If  dépend des diamètres de la flottaison.  Vd  Stabilité de poids : M\*g \* a : est le module de stabilité de poids. Il dépend de la position relative du CDG et du CDC.  Il est fonction de la répartition des masses à bord de la bouée.  En effet, en ajoutant du lest, le poids augmente, le CDG descend, le volume déplacé et le centre de carène varient.  Les bouées dont la largeur à la flottaison est importante par rapport à la profondeur de la carène, possèdent une stabilité initiales plus élevée | Weight stability and form stability :  To improve the righting moment, we can alter either the weight stability or the form stability.  The expression of the righting moment is only valid for small angles:  <5 °.  NOTE some authorities quote 7 and 10 deg.  Form stability: M\*g \* : is the modulus of the form stability. It depends on the geometric shapes of the float . In the case of a cylindrical float on the diameter.  Weight stability: M \* a \* g: is the modulus of the weight stability. It depends on the relative position of the CDG and the CDC.  It depends on the mass distribution on board the buoy.  By adding ballast, the weight increases and the CDG will be lowered. If the length of the tail tube is increased then the CDG may be lowered with little increase in weight. However, the displaced volume and center of buoyancy will change. |

|  |  |
| --- | --- |
| **V - Étude de la stabilité des bouées :** | **V - Study of buoy stability :** |
| La stabilité est la capacité de la bouée à revenir à une position droite après que les actions extérieures telles le vent, la houle, le courant marin mais aussi les manipulations des baliseurs, l’en ont écarté. | Stability is the ability of the buoy to return to an upright position when external actions such as wind, waves and tide current have displaced it. |
| La stabilité est jugée suffisante si la bouée garde cette capacité dans toutes les situations rencontrées. | Stability is considered adequate if the buoy retains this capacity in all situations. |
| L'étude de la stabilité consiste en règle générale à l'étude de la courbe des bras de levier de redressement aux petits angles. | We can study the stablity via the curve of righting arm at small angles of heel. |
| Les facteurs pouvant affecter la stabilité sont :   * Le chargement de la bouée, * La présence de couples extérieurs perturbateurs dûs aux actions extérieures. | Factors that may affect the stability are:   * The loading of the buoy, * The presence of overturning moments due to external forces. |
| Cependant, il est bon de savoir que la courbe des bras de levier de redressement ne prend pas en compte le couple de rappel généré par ma ligne de mouillage, lorsque la bouée est inclinée. | However, the curve of righting arm does not take into account the righting moment generated by the mooring line when the buoy is heeled. |
| Ce couple de rappel de la ligne de mouillage est en règle général négligeable pour les types usuels de bouée de signalisation maritime utilisées.  Néanmoins, la non prise en compte de ce couple va dans le sens de la sécurité pour la stabilité des bouée | However, not taking account this moment increases the safety margin of the buoys stability. |

|  |  |
| --- | --- |
| * Méthode : A chaque inclinaison d'angle on détermine la valeur du bras de levier de redressement GZ. | * Method: At each angle of heel , we determine the value of the righting arm GZ. |



|  |  |
| --- | --- |
| * **Analyse de la courbe :** | * **Analysis of the curve:** |
| L’aire totale sous la courbe de stabilité est la réserve de stabilité. | The total area under the curve of stability is the stability reserve. |
| Pente de la courbe : la pente de la courbe vaut la valeur du GM, module de stabilité initial. | Slope of the curve: the slope of the curve is the value of the modulus GM of the initial stability. |
| Angle limite de stabilité dynamique (θd) : Angle pour lequel les surfaces A1 et A2 sont égales.  Il y a risque de chavirement au delà de cet angle pour une sollicitation extérieure agissant sur la bouée | Limit angle of dynamic stability (θd): Angle for which the surfaces A1 and A2 are equal.  There is danger of capsizing beyond this angle for external loads acting on the buoy. |
| L'aire de la surface A1 correspond à l'énergie emmagasinée par le flotteur pour atteindre l'angle (θd).  Elle correspond au travail nécessaire pour incliner le navire de θ = 0 à θd.  L'aire de la surface A2 est la réserve dynamique qui va permettre de dissiper l'énergie emmagasiner en A1  En stabilité dynamique, il faut : A1 < A2. | The area A1 is the energy stored by the float to reach the angle (θd).  It is the work necessary to tilt the vessel θ = 0 to θd.  The area A2 is the dynamic reserve that is enable to dissipate the energy stored in area A1.  Dynamic stability requires: A1 <A2. |
| Angle limite de stabilité statique (θmax) : L’angle (θmax) correspond au sommet de la courbe. c'est l'angle maximal. | Limit angle of static stability (θmax): The angle (θmax) is the peak of the curve. It is the maximum angle. |
| Angle limite de chavirement statique (θs) : L’angle (θs) est l’angle de chavirement statique.  Au-delà, le moment de redressement devient négatif : il y a chavirement spontané, sans nécessité de l’action d’un moment inclinant. | Limit angle of static capsizing (θs) : the angle (θs) is the static capsizing angle.  Beyond this angle, the righting moment becomes negative: a prompt capsizing happens , without the action of a heeling moment.  NOTE This curve is difficult to produce due to deck of buoy becoming immersed or the corner of hull coming out of the water as a critical angle of heel is reached.  In practice it may be more useful to assume that the buoy may be rolled through 90 deg. in storm conditions and then evaluate if buoy will capsize from this position. |