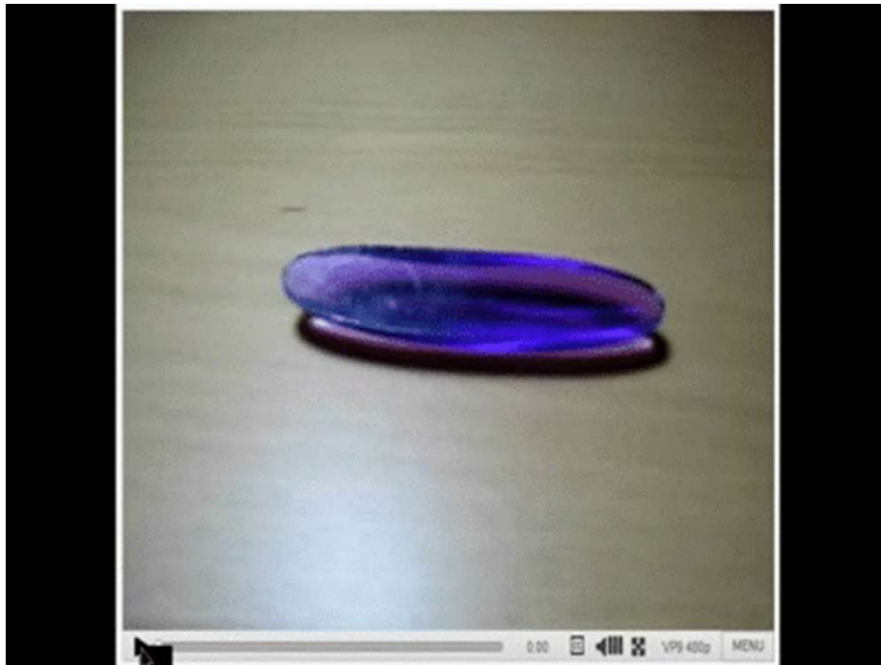


L'ANAGYRÉ

Les anagyres sont aussi appelées « pierres celtiques », parce que les Celtes auraient trouvé des galets « magiques » qui tournaient dans un sens mais pas dans l'autre³.



Les archéologues ont découvert au XIX. sur des sites celtiques et égyptiens antiques, des pierres qui présentaient la particularité d'inverser leur sens de rotation dans une direction⁴.

Les premières descriptions modernes de ces pierres ont été publiées en 1896⁵, par Gilbert Walker, notamment dans son article « On a curious dynamic property of celts ».

L'ANAGYRE

Sous une impulsion verticale, l'anagyre part toujours dans le même sens.



Sous une impulsion verticale, l'anagyre part toujours dans le même sens.

Ce comportement nous surprend car les symétries visibles nous poussent à penser....

- Qu'il n'y aura pas du tout de pivotement si l'impulsion est purement verticale***
- Qu'il y aura un léger pivotement, aléatoire dans le sens horaire ou anti-horaire, si des impulsions successives mais imparfaitement verticales sont données au même objet.***

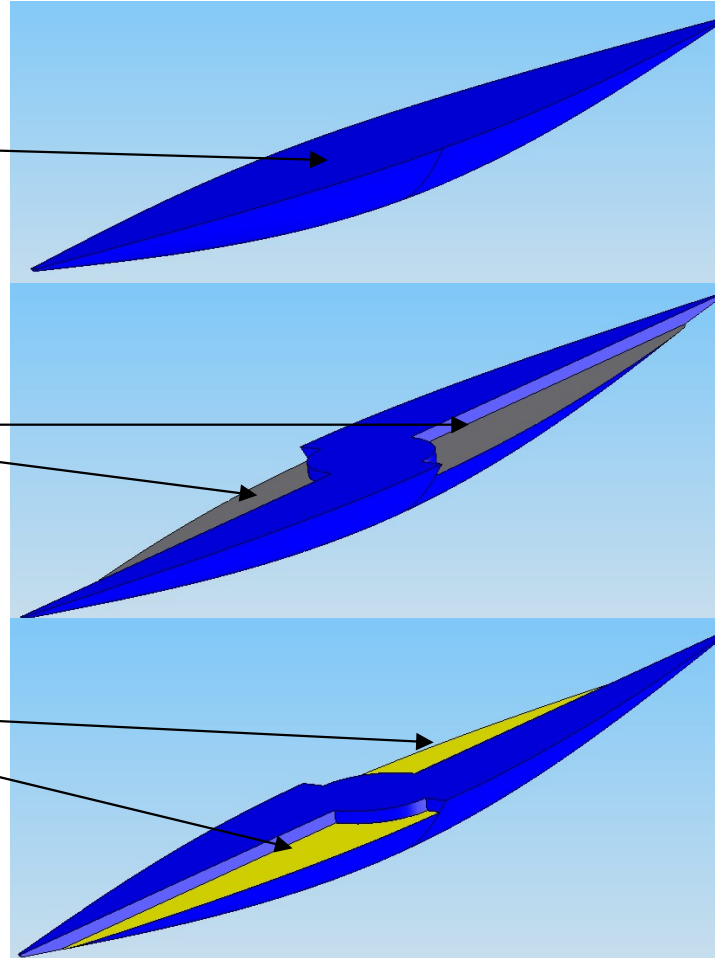
Nous pensons que c'est le défaut de symétrie de l'objet réel qui explique le comportement de l'anagyre.

Pour valider cette hypothèse, nous allons simuler le comportement dynamique de trois objets:

Objet de géométrie
« parfaite »

Retrait de matière 1

Retrait de matière 2

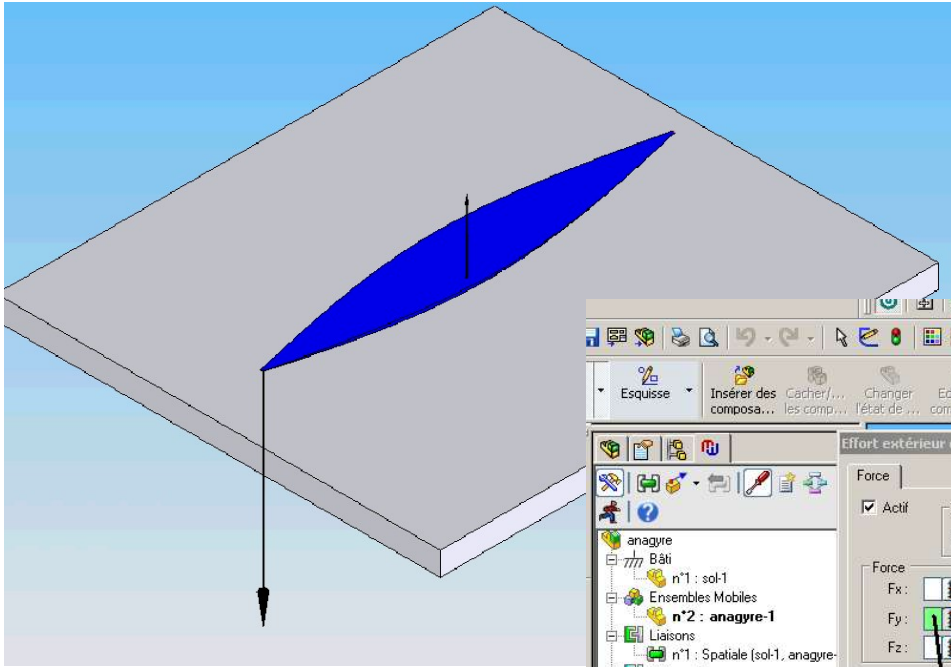
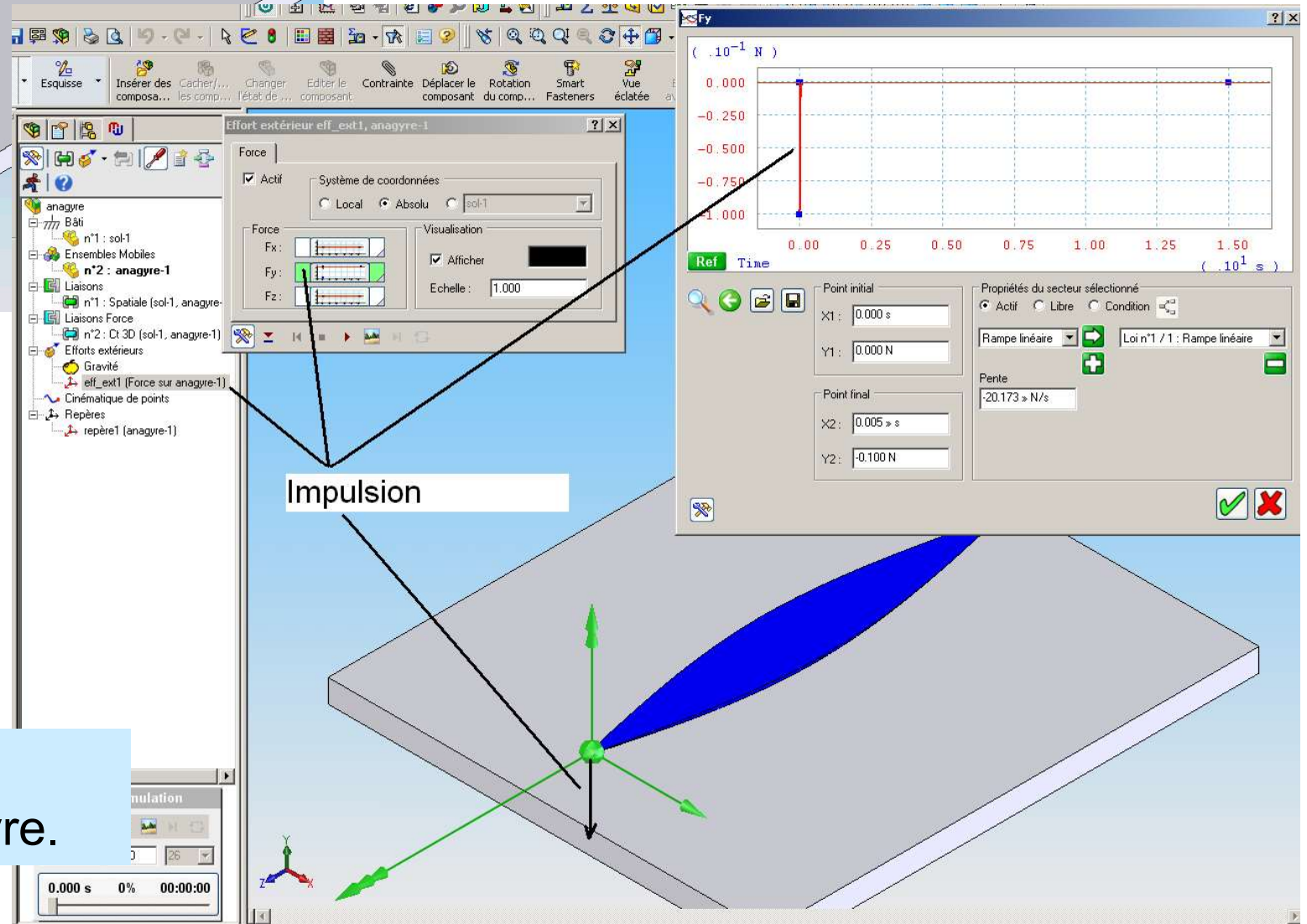


Solide 1

Solide 2

Solide 3

Avec les mêmes conditions initiales; impulsion, frottement, raideur et amortissement du contact

The screenshot displays a software interface for simulating an impulse on an anagyre. The main window shows a 3D model of the anagyre on a grey base, with a green coordinate system at its base. A blue arrow indicates the direction of the applied force. The interface includes a toolbar at the top, a tree view on the left, and a central control panel for the force.

The central control panel, titled "Effort extérieur eif_ext1, anagyre-1", shows the following settings:

- Force:** Actif
- Système de coordonnées:** Local (selected), Absolu, sol-1
- Force components:** Fx: [0], Fy: [1], Fz: [0]
- Visualisation:** Afficher
- Echelle:** 1.000

Below the control panel, a graph shows the force component Fy over time. The y-axis is labeled $(\cdot 10^{-1} \text{ N})$ and ranges from 0.000 to -1.000. The x-axis is labeled "Time" and ranges from 0.00 to 1.50 $(\cdot 10^1 \text{ s})$. The graph shows a vertical red line at $t = 0$ with a value of -1.000, indicating an impulse. The control panel below the graph shows the following settings:

- Point initial:** X1: 0.000 s, Y1: 0.000 N
- Point final:** X2: 0.005 s, Y2: -0.100 N
- Propriétés du secteur sélectionné:** Actif, Libre, Condition
- Rampe linéaire:** (selected)
- Loi n°1 / 1:** Rampe linéaire
- Pente:** -20.173 N/s

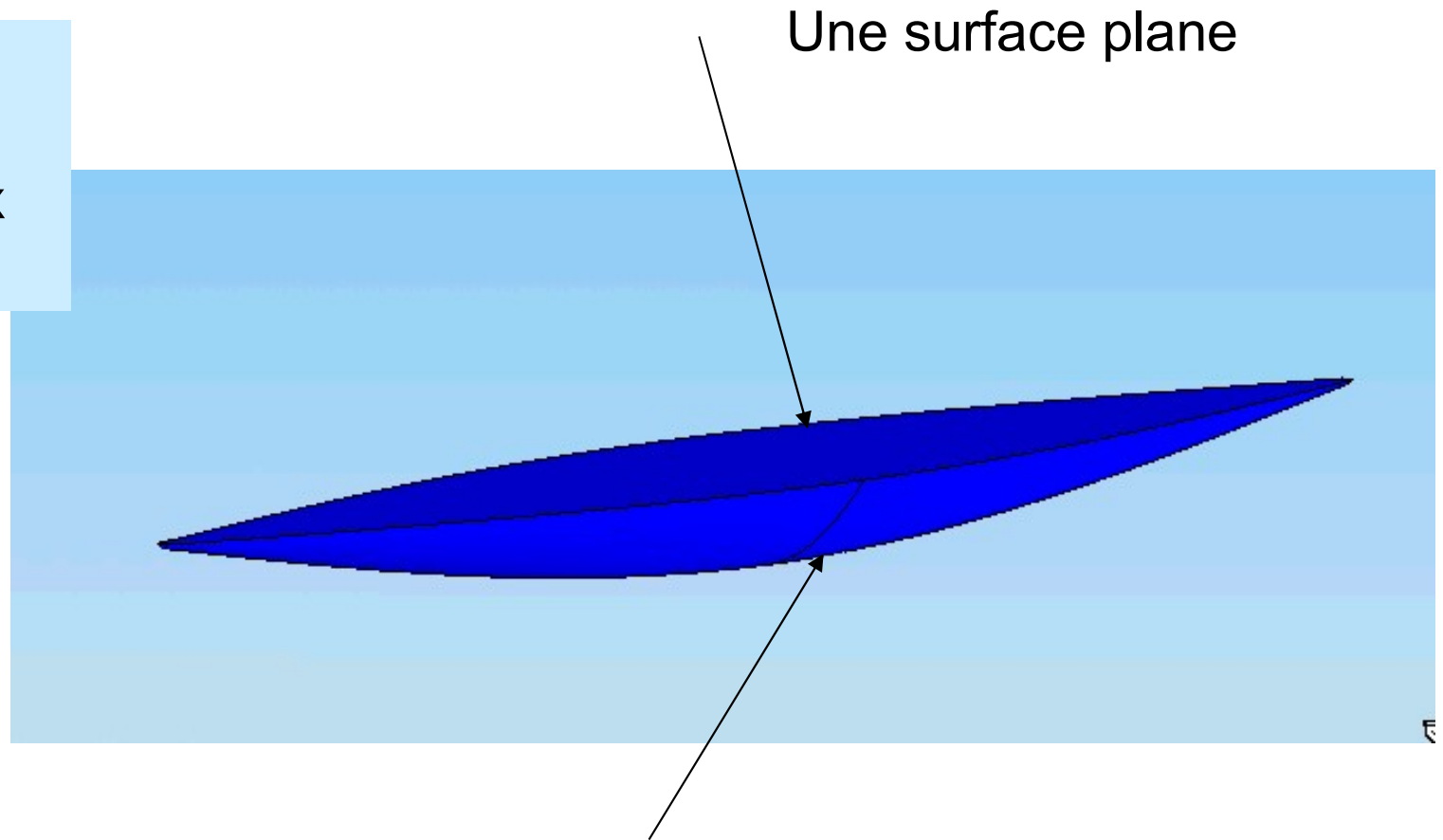
A simulation control bar at the bottom left shows the time as 0.000 s, 0% progress, and a duration of 00:00:00.

Impulsion

On applique une impulsion sur l'anagyre.

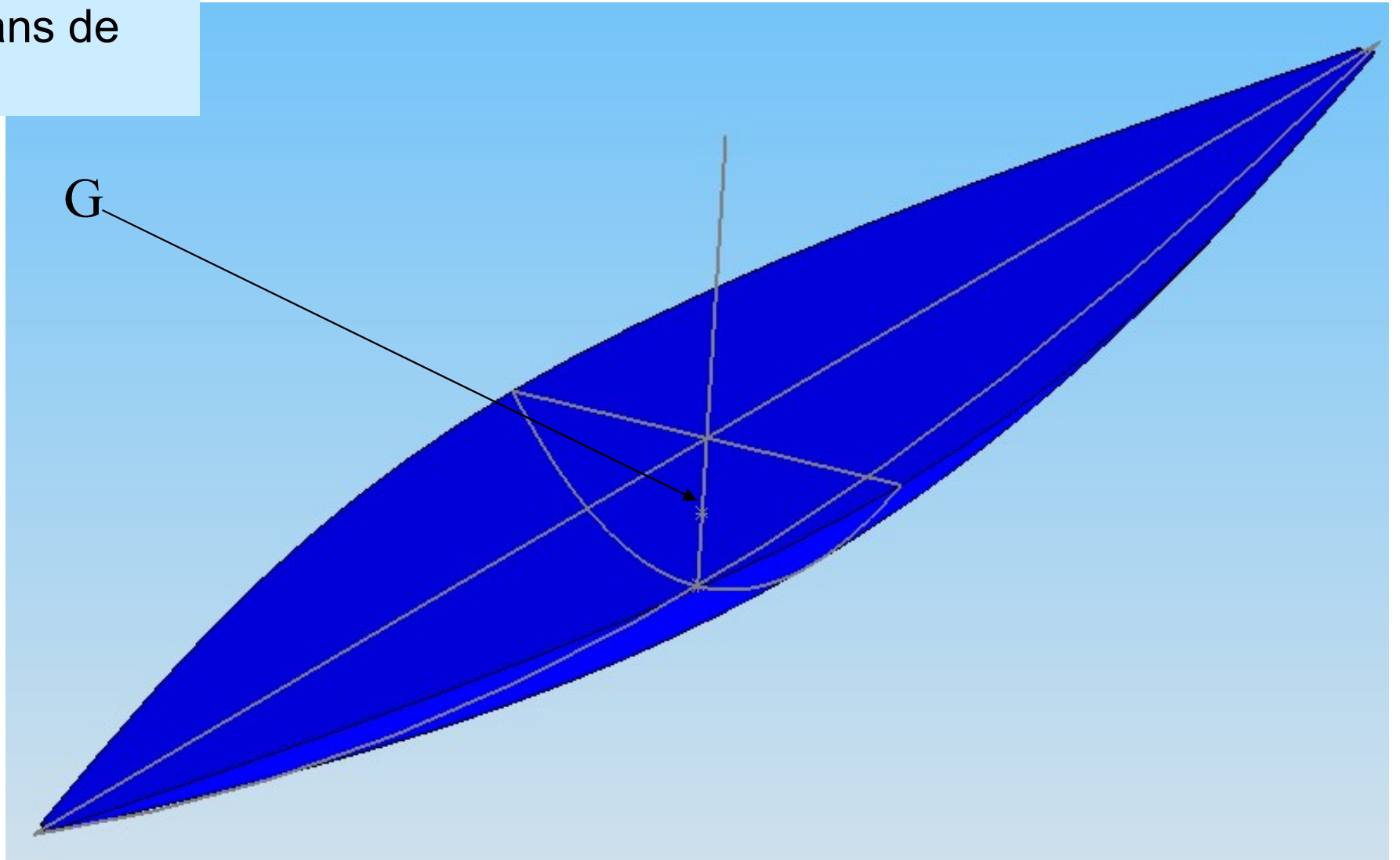
Comportement du solide « parfait »

Le modèle numérique de l'anagyre est ici un volume limité par deux surfaces.



Une surface lissée passant par deux paraboles éditées dans deux plans perpendiculaires

Le centre de gravité
G est sur cette
droite, intersection
des deux plans de
symétrie



Propriétés de masse

Imprimer... Copier Fermer Options... Recalculer

Système de coordonnées de sortie: -- par défaut --

Objets sélectionnés: anagyre.SLDPRT

Inclure les corps/composants cachés

Montrer le système de coordonnées de sortie dans le coin de la fenêtre

Propriétés de masse assignées

Propriétés de masse de anagyre (Part Configuration - Défaut)

Système de coordonnées de sortie : -- par défaut --

Densité = 0.00 grammes par millimètre cube

Masse = 16.41 grammes

Volume = 16411.45 millimètres cubes

Superficie = 7231.30 millimètres carrés

Centre de gravité: (millimètres)

X = 0.01
Y = 6.63
Z = 0.00

Axes d'inertie principaux et moments d'inertie principaux: (grammes * mill

Pris au centre de gravité.

Ix = (0.00, 0.00, 1.00)	Px = 568.29
Iy = (1.00, 0.00, 0.00)	Py = 17174.36
Iz = (-0.00, 1.00, 0.00)	Pz = 17559.97

Moments d'inertie: (grammes * millimètres carrés)

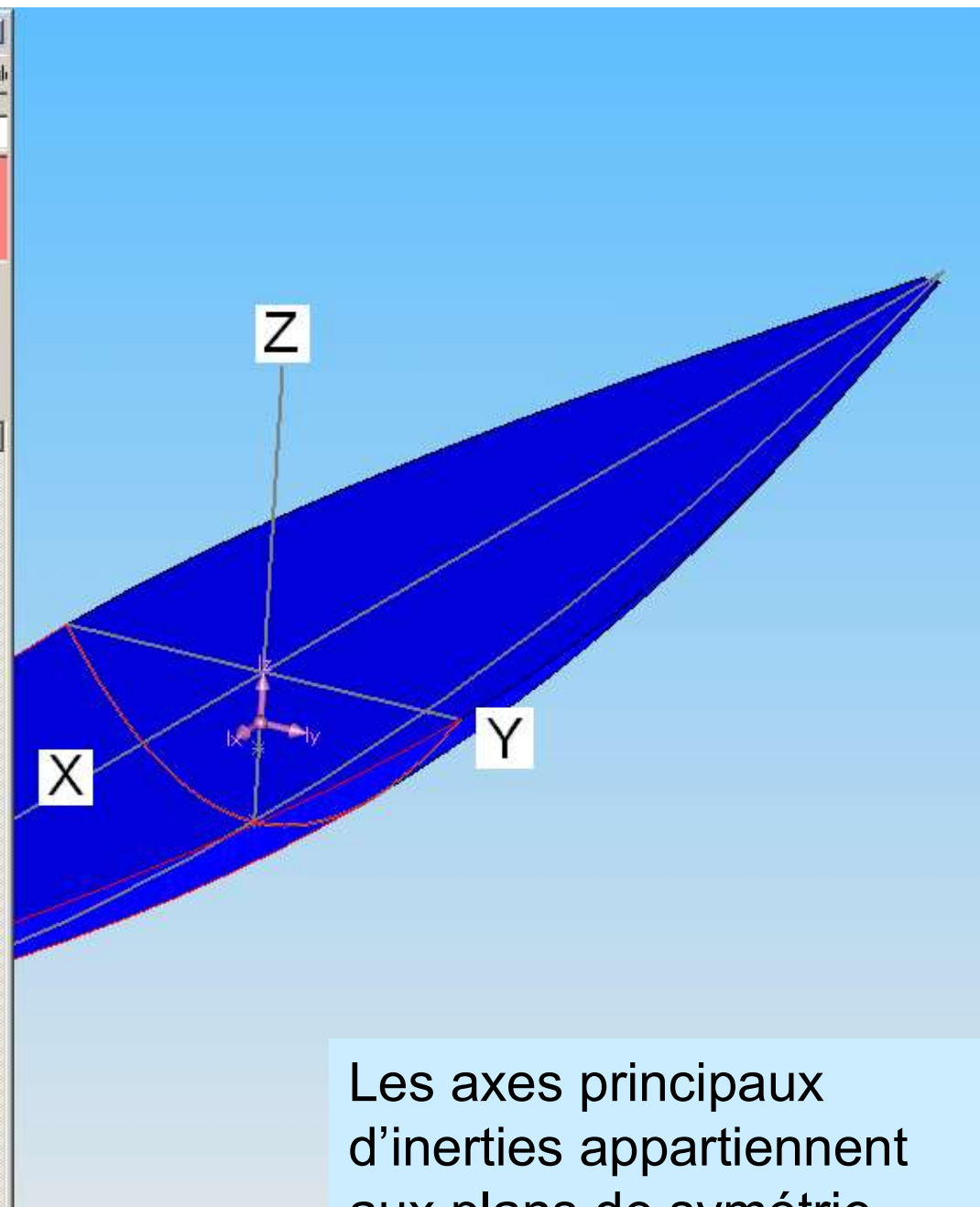
Pris au centre de gravité et aligné avec le système de coordonnées de sortie

Lxx = 17174.36	Lxy = 0.16	Lxz = 0.00
Lyx = 0.16	Lyy = 17559.97	Lyz = 0.00
Lzx = 0.00	Lzy = 0.00	Lzz = 568.29

Moments d'inertie: (grammes * millimètres carrés)

Pris au système de coordonnées de sortie.

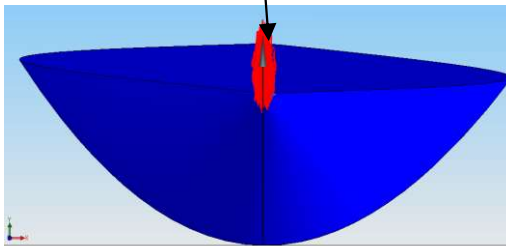
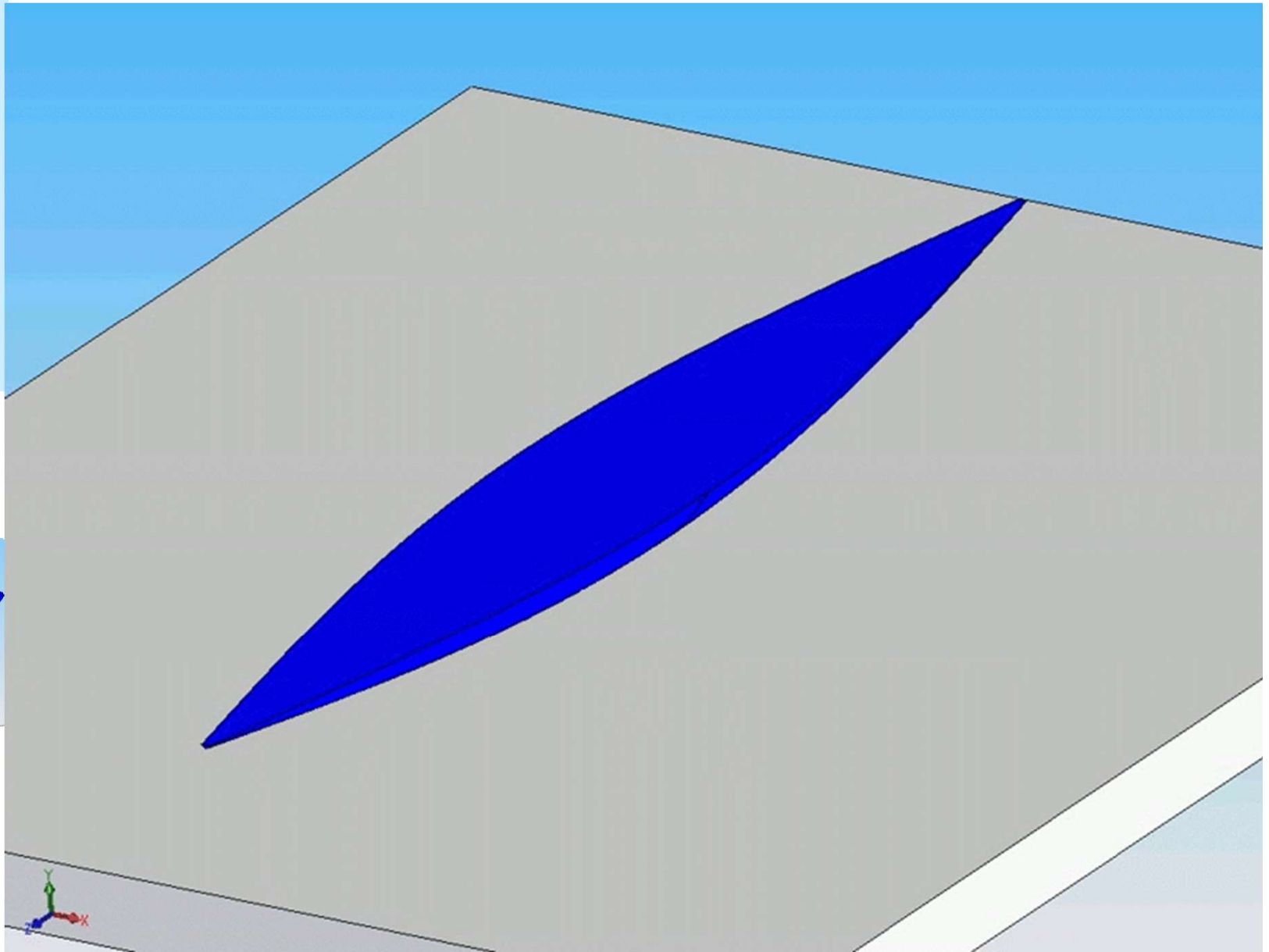
Ixx = 17895.78	Ixy = 1.26	Ixz = 0.00
Iyx = 1.26	Iyy = 17559.97	Iyz = 0.00
Izx = 0.00	Izy = 0.00	Izz = 1289.7



Les axes principaux d'inerties appartiennent aux plans de symétrie

Cet anagyre de géométrie presque parfaite*, ne pivote que très peu sur l'axe vertical

*la surface est quand même « facettisée » par le modelleur 3D. S'il était possible de faire tendre vers zéro la surface de ces facettes, la trajectoire du pointeur serait une courbe plane dans le plan (G,y,z)



Comportement du solide 2

Le centre de gravité est resté sur la même verticale. Les entailles réalisées modifient la répartition de la matière; les axes principaux d'inertie ont légèrement pivoté sur la verticale.

Propriétés de masse

Imprimer... Copier Fermer Options... Recalcul

Système de coordonnées de sortie: -- par défaut --

Objets sélectionnés: anagyre.SLDPRT

Inclure les corps/composants cachés

Montrer le système de coordonnées de sortie dans le coin de la fenêtre

Propriétés de masse assignées

Propriétés de masse de anagyre (Part Configuration - Défaut)

Système de coordonnées de sortie : -- par défaut --

Densité = 0.0010 grammes par millimètre cube

Masse = 13.8276 grammes

Volume = 13827.5920 millimètres cubes

Superficie = 6877.9595 millimètres carrés

Centre de gravité: (millimètres)

X = 0.0089
Y = 6.1814
Z = -0.0357

Axes d'inertie principaux et moments d'inertie principaux: (grammes * mill
Pris au centre de gravité.

Ix = (-0.0300, -0.0001, 0.9995)	Px = 433.40
Iy = (0.9995, 0.0002, 0.0300)	Py = 13085.
Iz = (-0.0002, 1.0000, 0.0001)	Pz = 13373.

Moments d'inertie: (grammes * millimètres carrés)

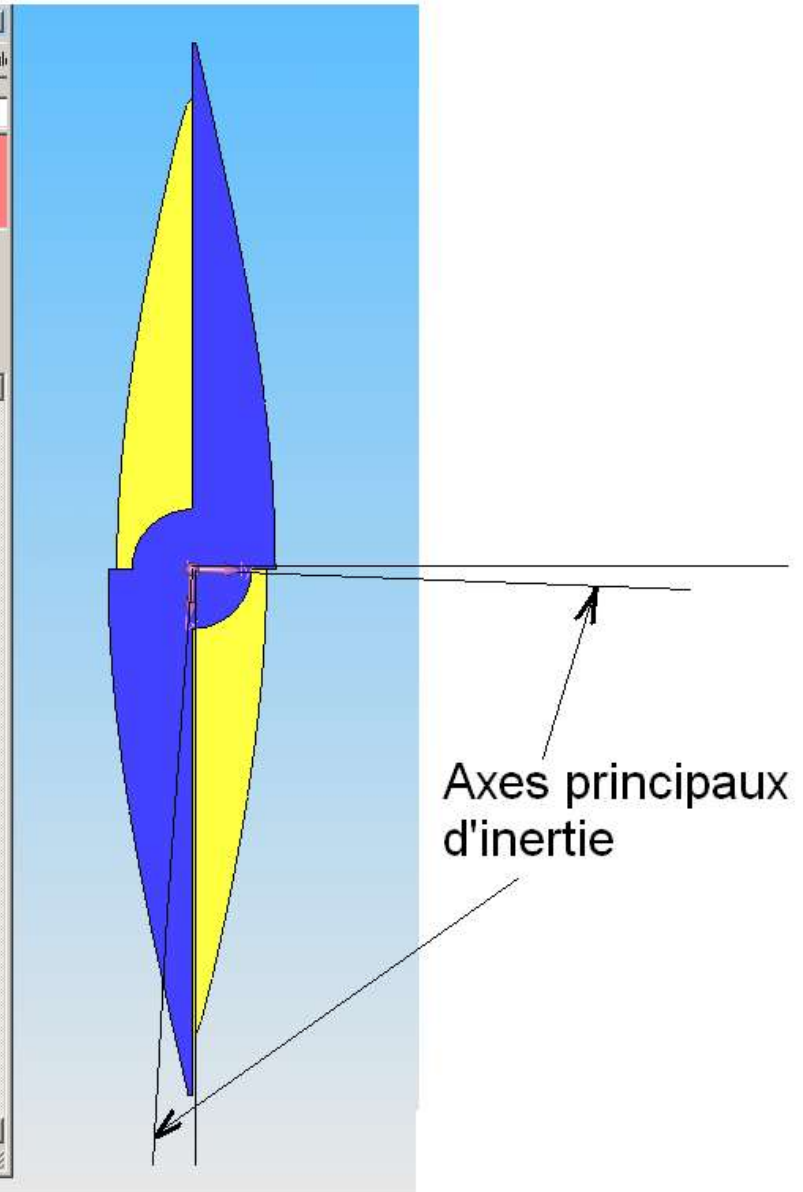
Pris au centre de gravité et aligné avec le système de coordonnées de soi

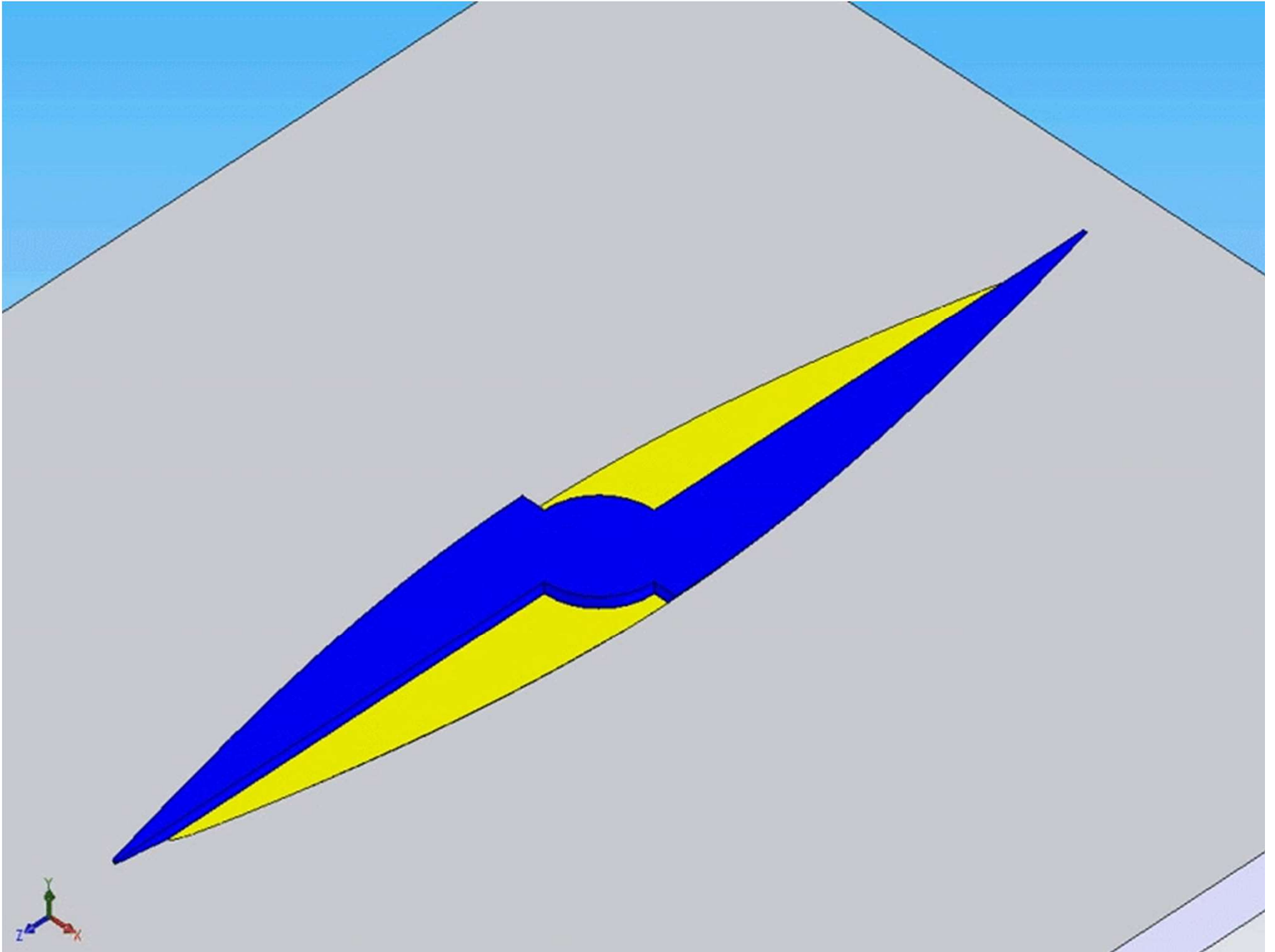
Lxx = 13073.8898	Lxy = 0.0915	Lxz = -379.5
Lyx = 0.0915	Lyy = 13373.4500	Lyz = -1.228
Lzx = -379.5783	Lzy = -1.2284	Lzz = 444.80

Moments d'inertie: (grammes * millimètres carrés)

Pris au système de coordonnées de sortie.

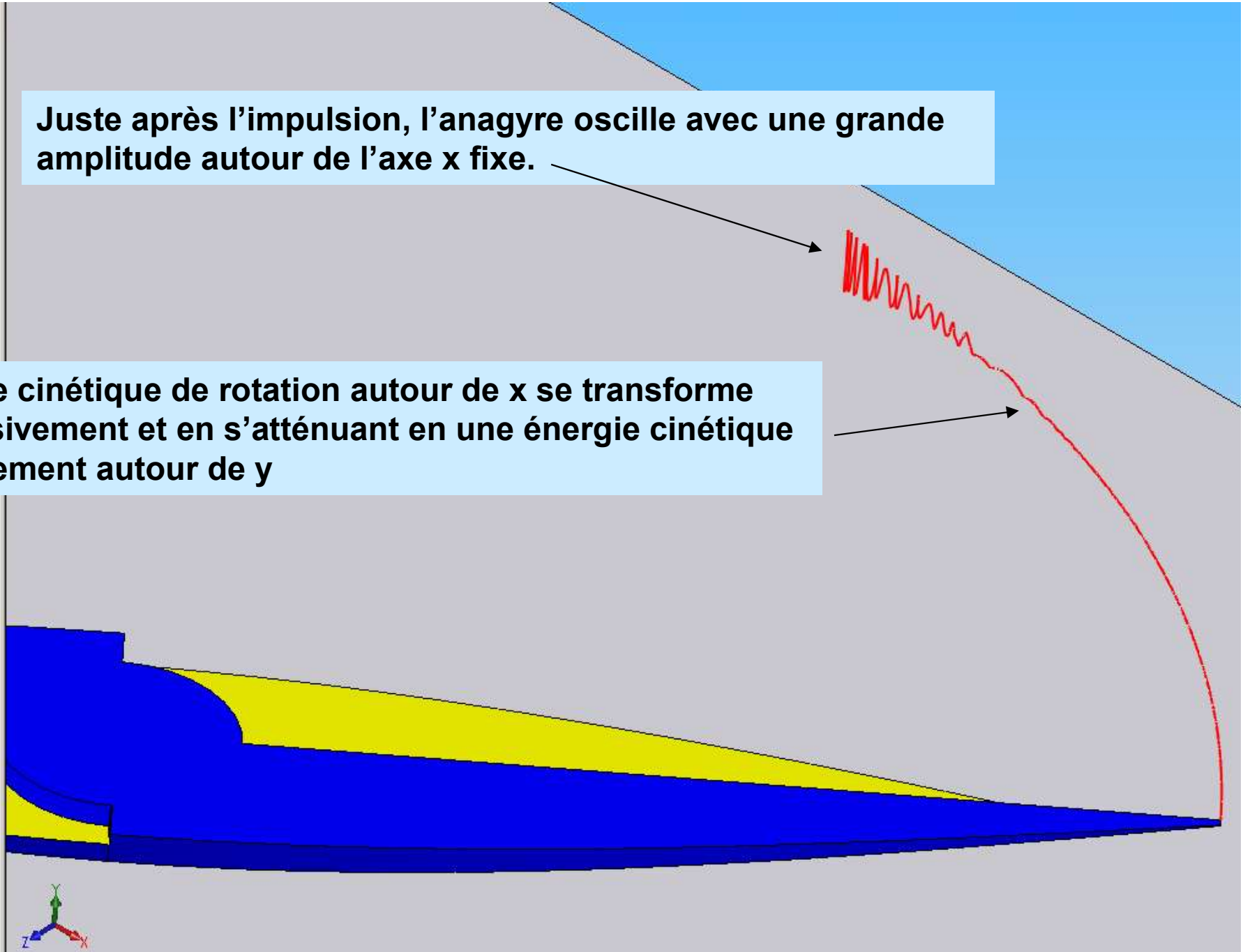
Ixx = 13602.2600	Ixy = 0.8518	Ixz = -379.5
Iyx = 0.8518	Iyy = 13373.4687	Iyz = -4.280
Izx = -379.5827	Izy = -4.2800	Izz = 973.15





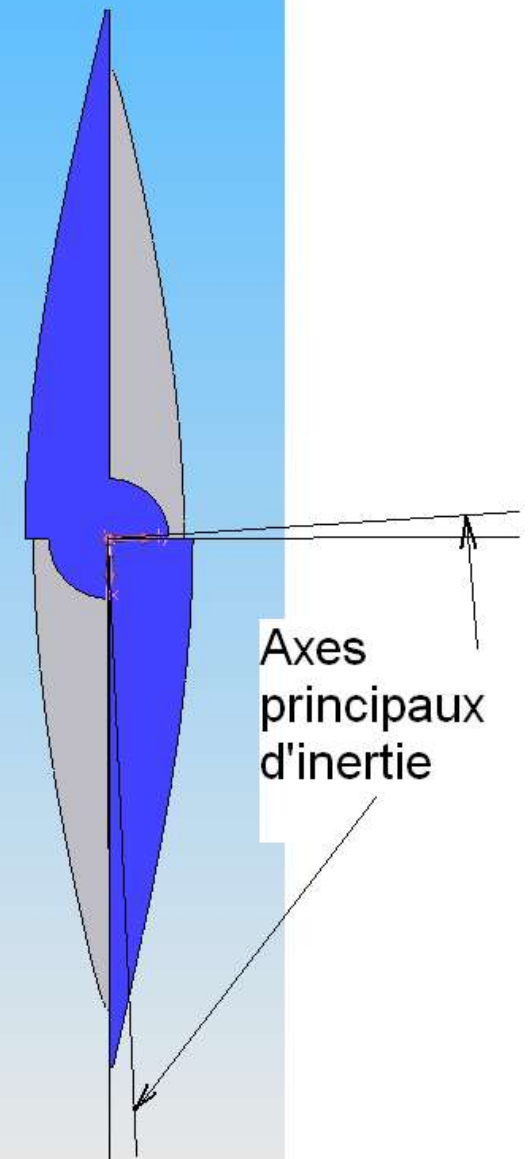
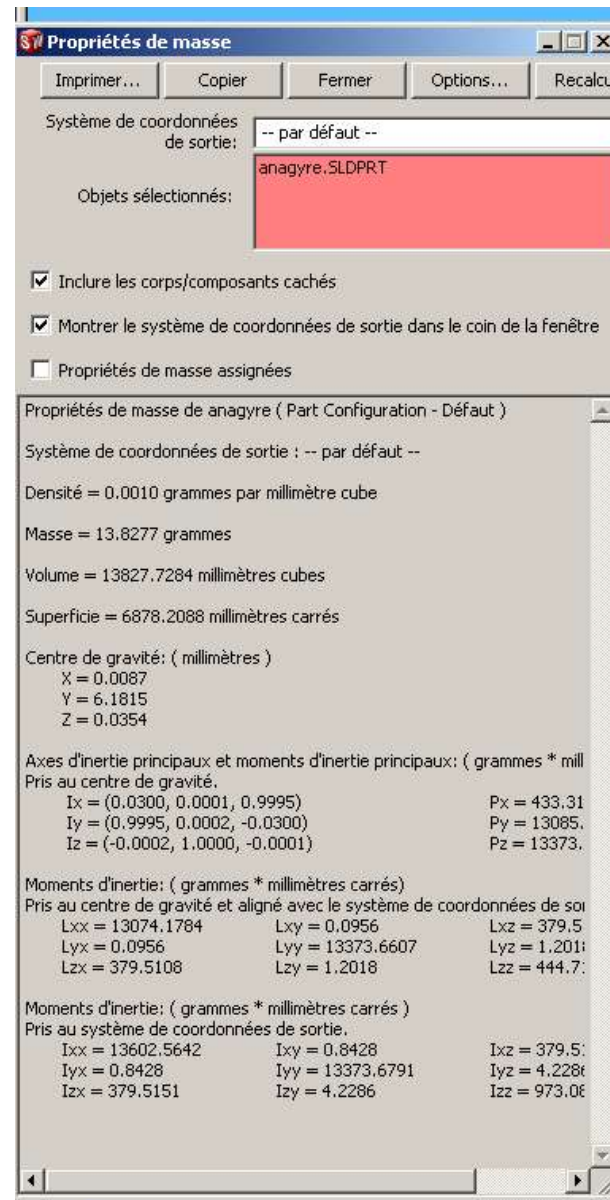
Juste après l'impulsion, l'anagyre oscille avec une grande amplitude autour de l'axe x fixe.

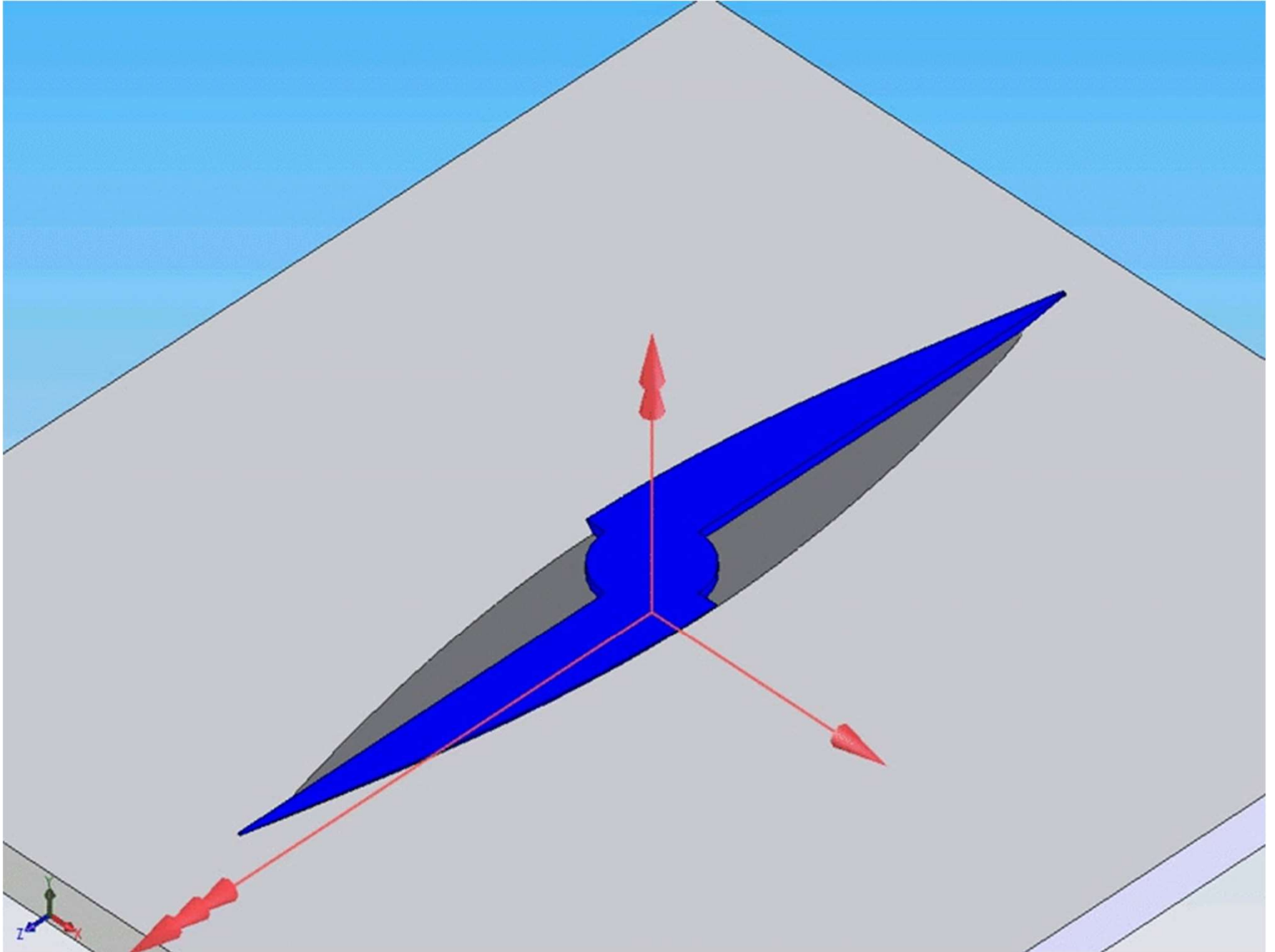
L'énergie cinétique de rotation autour de x se transforme progressivement et en s'atténuant en une énergie cinétique de pivotement autour de y



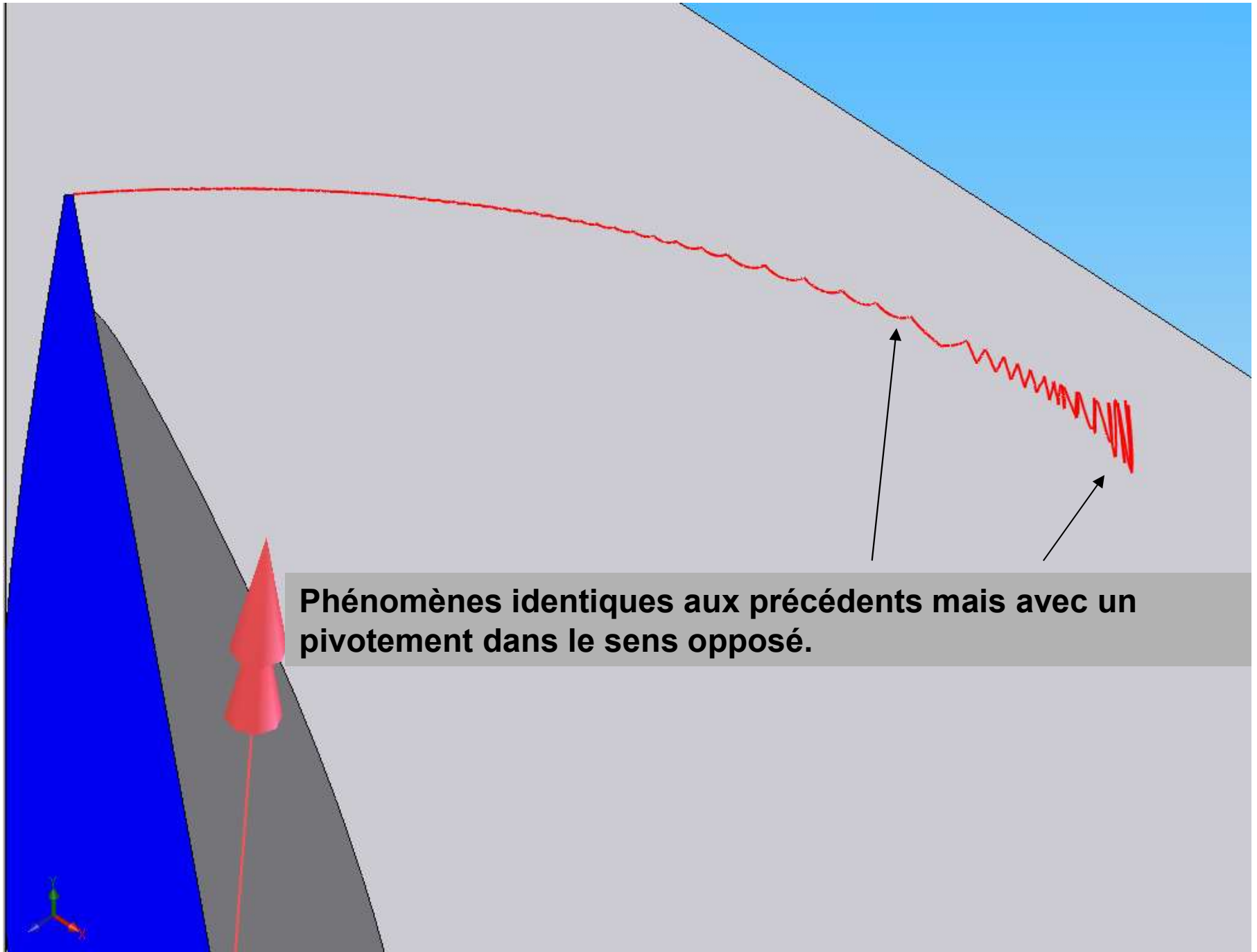
Comportement du solide 3

Le centre de gravité est encore sur la même verticale. Les entailles réalisées modifient la répartition de la matière; les axes principaux d'inertie ont légèrement pivoté sur la verticale dans le sens opposé au pivotement du solide 2.





L'ANAGYRE



Phénomènes identiques aux précédents mais avec un pivotement dans le sens opposé.

Puisque les conditions initiales, à la distribution de la matière près, sont identiques. Il est donc légitime de penser que c'est cette différence de distribution qui est la cause du pivotement en sens inverse des deux « anagyres ». Sur l'objet réel, produit en Travaux Pratiques de plasturgie à l'Icam de Lille, les défauts de géométrie sont à peine perceptibles à l'œil nu mais l'amplitude du pivotement est significative. Pour la simulation, on aura remarqué que pour produire l'effet attendu, le retrait de matière a été conséquent.

Petits défauts, grands effets...

La simulation a ses limites...

La simulation doit toujours s'appuyer sur l'expérience...

Les simulations des pages précédentes ont été réalisées avec le modelleur 3D Solidworks et le logiciel de simulation dynamique « Motionworks ».