جامعة محمد الخامس بالرباط
Université Mohammed V de Rabat
المدرسة الوطنية العليا للفنون والمهن بالرباط
ⵜⵉⵎⵔⴰⵏ ⵜⴰⵏⴰⵎⵓⵔⵜ ⵏ ⵜⵣⵔⴼⵜ ⴷ ⵜⵎⵙⵙⵓⵔⵉⵏ ⵏ ⵜⴰⵎⴰⵔⵜ ⵖ ⵍⵎⵖⵔⵉⴱ
Ecole Nationale Supérieure d'Arts et Métiers de Rabat

DOCUMENT TECHNIQUE

Conception des profils de cames

Document 1 - Tome 1

Profil obtenu avec une loi parabolique

Partie 1 : Cas d'un poussoir à galet axe-centré

Département de la Mécanique spécialisée

Filière Ingénierie Aéronautique et Automobile

Date : Décembre 2025

Auteur-QR

Auteur : Koudaya Kossi Boris

Titulaire du Module : Prof. Razouki

Table des matières

Introduction des cames

Les **cames**[1] sont des organes mécaniques essentiels dans la transformation du mouvement. Elles permettent de convertir un mouvement de rotation continu en un mouvement de translation ou d'oscillation selon un profil déterminé. Ce document technique présente la conception spécifique d'un profil de came utilisant une **loi parabolique**[2] pour le cas particulier d'un **poussoir à galet axe-centré**[3].
NB : L'usage de ce document nécessite des connaissances de bases en conception assistée par ordinateur sous CATIA V5.

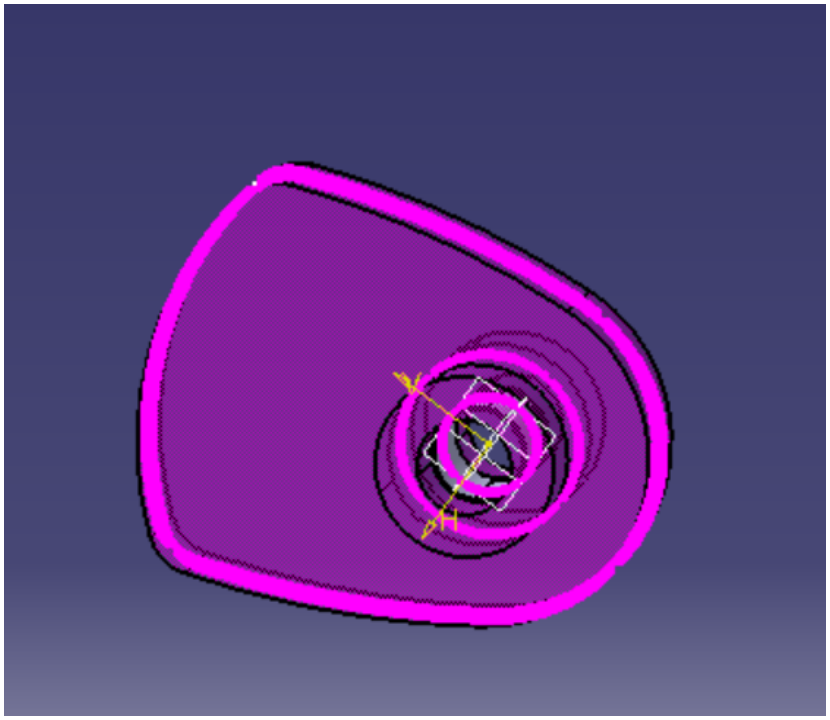


FIGURE 1 – Photo introductive

Caractéristiques principales du système étudié :

- Type de poussoir : **Poussoir à galet axe-centré**
- Loi de mouvement : **Loi parabolique**
- Levée maximale : 0A
- Angles caractéristiques : 0-120° (montée), 120-160° (palier haut), 160-280° (redescente), 280-360° (palier bas)

1. *Terme technique : cames*
2. *Terme technique : loi parabolique*
3. *Terme technique : poussoir à galet axe-centré*

Objectifs

1. Développer une méthodologie de conception pour un profil de came parabolique
2. Implémenter la génération du profil via différents outils (CATIA, Python, Excel)
3. Valider le profil par simulation cinématique
4. Documenter le processus d'itération et d'amélioration
5. Fournir des ressources réutilisables pour des conceptions similaires

Définitions des termes techniques

black!10 **Terme**	**Définition**
Came[4]	Pièce mécanique dont le profil permet de transformer un mouvement rotatif en mouvement linéaire selon une loi déterminée.
Poussoir à galet[5]	Élément suiveur équipé d'un galet qui roule sur le profil de la came, réduisant ainsi les frottements.
Loi parabolique[6]	Loi de mouvement où l'accélération est constante, caractérisée par des arcs de parabole.
Spline[7]	Courbe polynomiale par morceaux utilisée en CAO pour définir des profils complexes.
Courbe roulante[8]	Liaison spécifique entre le galet et la came, permettant un roulement sans glissement.

Projet de conception

1. Tracé de la spline de la loi parabolique

Méthodes disponibles :

— Macro CATIA V5

— Excel avec connecteur GSD (Generative Shape Design)

— Script Python avec export CSV

4. *Terme technique : Came*
5. *Terme technique : Poussoir à galet*
6. *Terme technique : Loi parabolique*
7. *Terme technique : Spline*
8. *Terme technique : Courbe roulante*

— Manuellement dans l'esquisse CATIA

Description de la loi parabolique : La figure suivante illustre la loi parabolique utilisée :

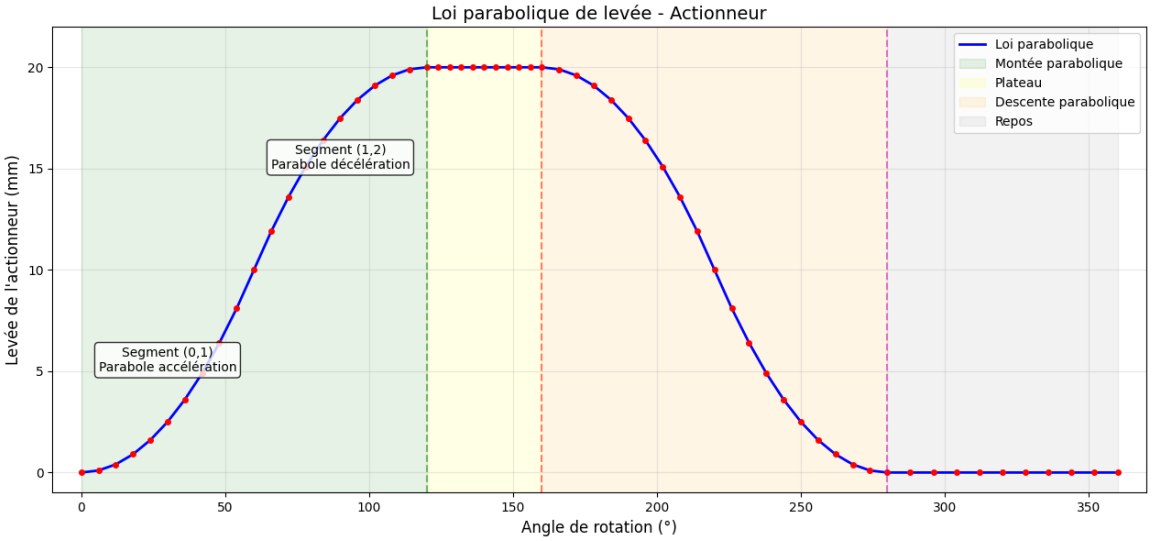


FIGURE 2 – Diagramme de levée - Loi parabolique

Caractéristiques :

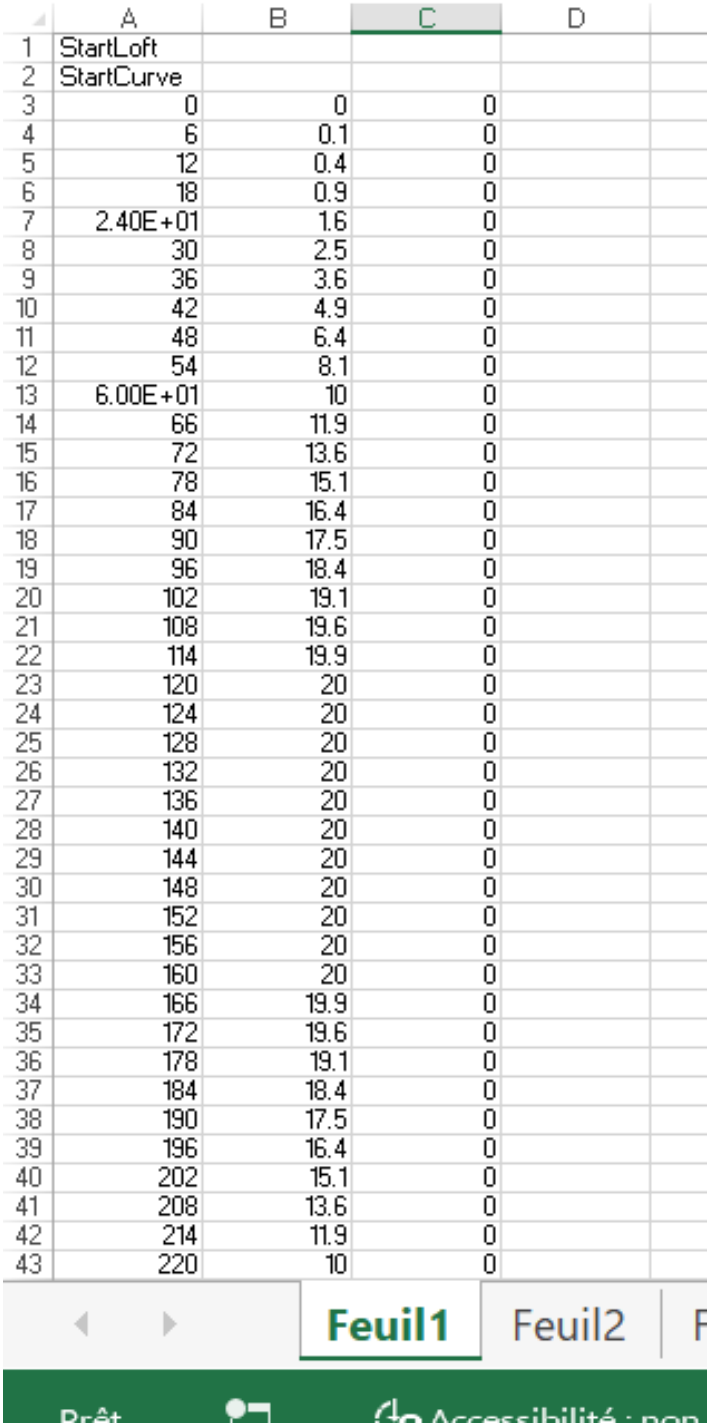
— Levée de l'actionneur
— Levée maximale obtenue à 120°
— Palier maintenu pendant 40° de rotation
— Redescente symétrique de 160° à 280°
— Position basse maintenue de 280° à 360°

La grandeur représente la **levée de l'actionneur**. La levée maximale est atteinte pour un angle de rotation de 120° et se maintient sur une plage angulaire de 40°. La phase de descente, comprise entre 160° et 280°, est, dans cet exemple, **symétrique** de la phase de montée ; cette symétrie n'est toutefois pas une condition obligatoire. L'actionneur est ensuite maintenu en **position basse** entre 280° et 360°.

Les arcs de parabole avec coordonnées $(angle, levee)$ sont tracés selon la méthode exposée précédemment. Le premier arc de parabole $(0, 1)$ est inscrit dans le premier rectangle, et la même procédure est appliquée pour les arcs suivants.

Dans le cas étudié, pour la phase de levée comprise entre 0° et 120°, chaque segment MM' est subdivisé en un nombre de sous-segments égal à celui utilisé pour le découpage du segment angulaire $(0°, 120°)$, assurant ainsi une correspondance rigoureuse entre la loi angulaire et la loi de levée.

Exemple de feuille excel Macro-GSD-EXCEL-CATIA pour la spline



	A	B	C	D
1	StartLoft			
2	StartCurve			
3	0	0	0	
4	6	0.1	0	
5	12	0.4	0	
6	18	0.9	0	
7	2.40E+01	1.6	0	
8	30	2.5	0	
9	36	3.6	0	
10	42	4.9	0	
11	48	6.4	0	
12	54	8.1	0	
13	6.00E+01	10	0	
14	66	11.9	0	
15	72	13.6	0	
16	78	15.1	0	
17	84	16.4	0	
18	90	17.5	0	
19	96	18.4	0	
20	102	19.1	0	
21	108	19.6	0	
22	114	19.9	0	
23	120	20	0	
24	124	20	0	
25	128	20	0	
26	132	20	0	
27	136	20	0	
28	140	20	0	
29	144	20	0	
30	148	20	0	
31	152	20	0	
32	156	20	0	
33	160	20	0	
34	166	19.9	0	
35	172	19.6	0	
36	178	19.1	0	
37	184	18.4	0	
38	190	17.5	0	
39	196	16.4	0	
40	202	15.1	0	
41	208	13.6	0	
42	214	11.9	0	
43	220	10	0	

FIGURE 3 – GSD-PointSplineLoftFromExcel.xls dans le pack de CATIA V5

Cliquez & Télécharger le fichier Excel Ici

Exemple de script Python pour la spline

```
"""
Script␣Python␣pour␣g n rer␣les␣points␣de␣la␣loi␣parabolique
Export␣en␣CSV␣pour␣utilisation␣dans␣CATIA␣V5
"""
# -*- coding: utf-8 -*-
import win32com.client
import math
import matplotlib.pyplot as plt
import numpy as np

# ================================================
# PARAM TRES DE LA LOI PARABOLIQUE
# ================================================
h_max = 20.0  # Lev e maximale en mm
theta_mont e = 120.0  # Angle de mont e en degr s
theta_plateau = 40.0  # Angle de plateau en degr s
theta_descente = 120.0  # Angle de descente en degr s
theta_repos = 80.0  # Angle de repos en degr s

# V rification
if abs(theta_mont e + theta_plateau + theta_descente + theta_repos -
    360) > 0.1:
    print("ATTENTION:␣La␣somme␣des␣angles␣doit␣ tre ␣ gale ␣  ␣360  !"
        )


# ================================================
# FONCTIONS DE LA LOI PARABOLIQUE
# ================================================
def loi_parabolique_mont e(theta, theta_max, h_max):
    """Loi␣parabolique␣pour␣la␣mont e␣(2␣paraboles)"""
    if theta <= theta_max / 2:
        # Premi re parabole (acc l ration) - segment (0,1)
        return (2 * h_max / theta_max ** 2) * theta ** 2
    else:
        # Deuxi me parabole (d c l ration) - segment (1,2)
        return h_max - (2 * h_max / theta_max ** 2) * (theta_max -
            theta) ** 2


def loi_parabolique_descente(theta, theta_max, h_max):
    """Loi␣parabolique␣pour␣la␣descente␣(2␣paraboles)␣-␣sym trique"""
    if theta <= theta_max / 2:
        # Premi re parabole (acc l ration n gative) - segment
            (3,4)
        return h_max - (2 * h_max / theta_max ** 2) * theta ** 2
    else:
```

```
        # Deuxi me parabole (d c l ration n gative) - segment (4,5)
        return (2 * h_max / theta_max ** 2) * (theta_max - theta) ** 2


def g n rer_points_loi():
    """G n re les points de la loi parabolique selon votre description"""
    points = []

    # Nombre de points pour chaque segment
    nb_pts = 10  # Points par sous-segment

    # 1. Phase de mont e parabolique (0    120  ) - Segments (0,1) et (1,2)
    print("\nPHASE DE MONT E (0-120  ):")
    print("Segment (0,1): Parabole d'acc l ration")
    print("Segment (1,2): Parabole de d c l ration")

    for i in range(nb_pts * 2 + 1):
        theta = i * (theta_mont e / (nb_pts * 2))
        h = loi_parabolique_mont e(theta, theta_mont e, h_max)
        points.append((theta, h))

    # 2. Phase de plateau (120    160  )
    print("\nPHASE DE PLATEAU (120-160  ):")
    for i in range(1, nb_pts + 1):
        theta = theta_mont e + i * (theta_plateau / nb_pts)
        points.append((theta, h_max))

    # 3. Phase de descente parabolique (160    280  ) - Segments (3,4) et (4,5)
    print("\nPHASE DE DESCENTE (160-280  ):")
    print("Segment (3,4): Parabole d'acc l ration n gative")
    print("Segment (4,5): Parabole de d c l ration n gative")

    for i in range(1, nb_pts * 2 + 1):
        theta = theta_mont e + theta_plateau + i * (theta_descente / (nb_pts * 2))
        h = loi_parabolique_descente(i * (theta_descente / (nb_pts * 2)), theta_descente, h_max)
        points.append((theta, h))

    # 4. Phase de repos (280    360  )
    print("\nPHASE DE REPOS (280-360  ):")
    for i in range(1, nb_pts + 1):
        theta = theta_mont e + theta_plateau + theta_descente + i * (theta_repos / nb_pts)
```

```
85          points.append((theta, 0))
86
87      return points
88
89
90  # ================================================
91  # G N RATION DES POINTS
92  # ================================================
93  points_loi = g n rer_points_loi()
94
95  # Afficher les coordonn es
96  print("\n" + "=" * 80)
97  print("COORDONN ES␣DE␣LA␣LOI␣PARABOLIQUE")
98  print("=" * 80)
99  print("Angle␣(  )\tLev e␣(mm)\tX␣(mm)\t\tY␣(mm)")
100 print("-" * 80)
101
102 coords_x = []
103 coords_y = []
104
105 for angle_deg, lev e in points_loi:
106     # Pour afficher comme courbe 2D dans CATIA (X=angle, Y=lev e)
107     x_catia = angle_deg
108     y_catia = lev e
109
110     coords_x.append(x_catia)
111     coords_y.append(y_catia)
112
113     print(f"{angle_deg:8.2f}\t{lev e:10.3f}\t{x_catia:10.3f}\t{
        y_catia:10.3f}")
114
115 print("=" * 80)
116
117 # ================================================
118 # TRAC  DANS PYTHON (MATPLOTLIB)
119 # ================================================
120 print("\nCr ation␣du␣graphique␣Python...")
121
122 plt.figure(figsize=(12, 6))
123
124 # Courbe principale
125 plt.plot(coords_x, coords_y, 'b-', linewidth=2, label='Loi␣parabolique
    ')
126 plt.plot(coords_x, coords_y, 'ro', markersize=4)
127
128 # Ajouter les zones
129 plt.axvspan(0, theta_mont e, alpha=0.1, color='green', label='Mont e
    ␣parabolique')
```

```
130 plt.axvspan(theta_mont e , theta_mont e + theta_plateau, alpha=0.1,
        color='yellow', label='Plateau')
131 plt.axvspan(theta_mont e + theta_plateau, theta_mont e +
        theta_plateau + theta_descente, alpha=0.1, color='orange',
132             label='Descente parabolique')
133 plt.axvspan(theta_mont e + theta_plateau + theta_descente, 360, alpha
        =0.1, color='gray', label='Repos')
134
135 # Ajouter les lignes verticales pour les transitions
136 plt.axvline(x=theta_mont e , color='g', linestyle='--', alpha=0.5)
137 plt.axvline(x=theta_mont e + theta_plateau, color='r', linestyle='--'
        , alpha=0.5)
138 plt.axvline(x=theta_mont e + theta_plateau + theta_descente, color='m
        ', linestyle='--', alpha=0.5)
139
140 # Ajouter les annotations pour les segments de paraboles
141 plt.text(theta_mont e / 4, h_max * 0.25, 'Segment (0,1)\nParabole
        acc l ration',
142          ha='center', bbox=dict(boxstyle="round,pad=0.3", facecolor="
             white", alpha=0.8))
143 plt.text(theta_mont e * 3 / 4, h_max * 0.75, 'Segment (1,2)\nParabole
        d c l ration',
144          ha='center', bbox=dict(boxstyle="round,pad=0.3", facecolor="
             white", alpha=0.8))
145
146 # Configuration du graphique
147 plt.xlabel('Angle de rotation (  )', fontsize=12)
148 plt.ylabel('Lev e de l\'actionneur (mm)', fontsize=12)
149 plt.title('Loi parabolique de lev e - Actionneur', fontsize=14)
150 plt.grid(True, alpha=0.3)
151 plt.legend(loc='upper right')
152 plt.xlim(-10, 370)
153 plt.ylim(-1, h_max + 2)
154
155 plt.tight_layout()
156 plt.savefig('loi_parabolique_actionneur.png', dpi=150)
157 plt.show()
158
159 print("Graphique Python sauvegard sous 'loi_parabolique_actionneur.
        png'")
160
161 # ================================================
162 # TRAC  DANS CATIA V5
163 # ================================================
164 print("\nConnexion    CATIA V5...")
165
166 try:
167     # -----------------------------
```

```
    # Connexion    CATIA
    # ------------------------------
    catia = win32com.client.Dispatch("CATIA.Application")
    catia.Visible = True

    # Cr er un nouveau document Part
    documents = catia.Documents
    part_doc = documents.Add("Part")
    part = part_doc.Part

    # Factory pour cr er les formes
    hsf = part.HybridShapeFactory

    # Cr er un corps hybride pour organiser les   lments
    hybrid_bodies = part.HybridBodies
    hybrid_body = hybrid_bodies.Add()
    hybrid_body.Name = "Loi_Parabolique_Actionneur"

    # ------------------------------
    # Cr ation des points dans CATIA
    # ------------------------------
    print("Cr ation des points dans CATIA...")
    points_catia = []

    for i, (angle_deg, lev e) in enumerate(points_loi):
        # Cr er un point avec coordonn es (X=angle, Y=lev e , Z=0)
        pt = hsf.AddNewPointCoord(angle_deg, lev e , 0.0)
        pt.Name = f"Point_{i + 1:03d}"
        hybrid_body.AppendHybridShape(pt)
        points_catia.append(pt)

        if i % 10 == 0:  # Afficher progression
            print(f"  Point {i + 1}/{len(points_loi)} cr   ")

    # ------------------------------
    # Cr ation de la spline dans CATIA
    # ------------------------------
    print("Cr ation de la spline dans CATIA...")
    spline = hsf.AddNewSpline()
    spline.SetSplineType(0)  # 0 pour spline par points

    for pt in points_catia:
        spline.AddPoint(pt)

    spline.Name = "Courbe_Loi_Parabolique"
    hybrid_body.AppendHybridShape(spline)

    # ------------------------------
```

```
    # Ajouter des axes et rep res
    # ----------------------------
    # Axe X (angle)
    pt_origine = hsf.AddNewPointCoord(0, 0, 0)
    pt_x = hsf.AddNewPointCoord(380, 0, 0)
    line_x = hsf.AddNewLinePtPt(pt_origine, pt_x)
    line_x.Name = "Axe_Angle"
    hybrid_body.AppendHybridShape(pt_origine)
    hybrid_body.AppendHybridShape(pt_x)
    hybrid_body.AppendHybridShape(line_x)

    # Axe Y (lev e)
    pt_y = hsf.AddNewPointCoord(0, h_max + 5, 0)
    line_y = hsf.AddNewLinePtPt(pt_origine, pt_y)
    line_y.Name = "Axe_Levee"
    hybrid_body.AppendHybridShape(pt_y)
    hybrid_body.AppendHybridShape(line_y)

    # ----------------------------
    # Ajouter du texte pour les zones
    # ----------------------------
    # Zone mont e
    pt_text_mont e = hsf.AddNewPointCoord(theta_mont e / 2, h_max /
        2, 0)
    text_mont e = part.MainBody.DrawingTexts.Add("MONT E␣PARABOLIQUE
        ", pt_text_mont e)

    # Zone plateau
    pt_text_plateau = hsf.AddNewPointCoord(theta_mont e +
        theta_plateau / 2, h_max, 0)
    text_plateau = part.MainBody.DrawingTexts.Add("PLATEAU",
        pt_text_plateau)

    # Zone descente
    pt_text_descente = hsf.AddNewPointCoord(theta_mont e +
        theta_plateau + theta_descente / 2, h_max / 2, 0)
    text_descente = part.MainBody.DrawingTexts.Add("DESCENTE␣
        PARABOLIQUE", pt_text_descente)

    # Zone repos
    pt_text_repos = hsf.AddNewPointCoord(theta_mont e + theta_plateau
         + theta_descente + theta_repos / 2, 2, 0)
    text_repos = part.MainBody.DrawingTexts.Add("REPOS", pt_text_repos
        )

    # ----------------------------
    # Mise    jour et affichage
    # ----------------------------
```

```
    part.Update()

    # Ajuster la vue
    viewer = part_doc.GetViewer3D(1)
    viewer.FitAllIn()

    print("\n" + "=" * 80)
    print("TRAC  CATIA V5 R USSI!")
    print("=" * 80)
    print(f"Document:  {part_doc.Name}")
    print(f"Corps hybride:  {hybrid_body.Name}")
    print(f"Nombre de points:  {len(points_catia)}")
    print(f"Spline:  {spline.Name}")
    print("\n l ments cr   s:")
    print("  - Courbe de la loi parabolique")
    print("  - Axes X (angle) et Y (lev e)")
    print("  - Annotations des zones")
    print("  - Tous les points de discr tisation")

    # ------------------------------
    # Cr er un rapport texte dans CATIA
    # ------------------------------
    param tres_text = f"""
PARAM TRES DE LA LOI PARABOLIQUE:
==============================
Lev e maximale:  {h_max} mm
Phase mont e:  0-{theta_mont e}    (parabolique)
Phase plateau:  {theta_mont e}-{theta_mont e +  theta_plateau}
Phase descente:  {theta_mont e +  theta_plateau}-{theta_mont e +
   theta_plateau +  theta_descente}    (parabolique)
Phase repos:  {theta_mont e +  theta_plateau +  theta_descente}-360
Nombre de points:  {len(points_loi)}
Segments paraboliques:
  - (0,1):  Acc l ration
  - (1,2):  D  c  l  ration
  - (3,4):  Acc l ration  n gative
  - (4,5):  D  c  l  ration  n gative
"""

    pt_param = hsf.AddNewPointCoord(-50, h_max + 10, 0)
    text_param = part.MainBody.DrawingTexts.Add(param tres_text ,
       pt_param)

    print("\nParam tres  ajout s  au  document  CATIA")

except Exception as e:
    print(f"\nERREUR  lors  de  la  connexion     CATIA:  {str(e)}")
    print("\nAssurez-vous  que:")
```

```
302     print("1. CATIA V5 est install ")
303     print("2. CATIA est ouvert")
304     print("3. La biblioth que win32com est install e (pip install
            pywin32)")
305 
306     # Sauvegarder les points dans un fichier pour import manuel
307     print("\nSauvegarde des points dans un fichier CSV...")
308     with open('points_loi_parabolique.csv', 'w', encoding='utf-8') as
            f:
309         f.write("Index;Angle(deg);Levee(mm);X;Y\n")
310         for i, (angle_deg, lev e) in enumerate(points_loi):
311             f.write(f"{i +1};{angle_deg:.2f};{lev e:.3f};{angle_deg
                    :.3f};{lev e:.3f}\n")
312 
313     print("Points sauvegard s dans 'points_loi_parabolique.csv'")
314 
315 # ================================================
316 # SAUVEGARDE DES DONN ES
317 # ================================================
318 print("\n" + "=" * 80)
319 print("SAUVEGARDE DES DONN ES")
320 print("=" * 80)
321 
322 # Sauvegarder dans un fichier texte
323 with open('loi_parabolique_detailed.txt', 'w', encoding='utf-8') as f:
324     f.write("=" * 80 + "\n")
325     f.write("LOI PARABOLIQUE D'ACTIONNEUR - RAPPORT D TAILL \n")
326     f.write("=" * 80 + "\n\n")
327 
328     f.write("PARAM TRES:\n")
329     f.write("-" * 40 + "\n")
330     f.write(f"Lev e maximale (h_max): {h_max} mm\n")
331     f.write(f"Angle mont e: 0-{theta_mont e}  ({theta_mont e / 360
            * 100:.1f}% du cycle)\n")
332     f.write(
333         f"Angle plateau: {theta_mont e}-{theta_mont e +
                theta_plateau}  ({theta_plateau / 360 * 100:.1f}% du
                cycle)\n")
334     f.write(
335         f"Angle descente: {theta_mont e + theta_plateau}-{
                theta_mont e + theta_plateau + theta_descente}  ({
                theta_descente / 360 * 100:.1f}% du cycle)\n")
336     f.write(
337         f"Angle repos: {theta_mont e + theta_plateau + theta_descente
                }-360  ({theta_repos / 360 * 100:.1f}% du cycle)\n\n")
338 
339     f.write("SEGMENTS PARABOLIQUES:\n")
340     f.write("-" * 40 + "\n")
```

```
    f.write("MONT E:\n")
    f.write("  Segment (0,1): Parabole d'acc l ration (0-60  )\n")
    f.write("  Segment (1,2): Parabole de d  c  l  ration (60-120  )\n
        ")
    f.write("DESCENTE:\n")
    f.write("  Segment (3,4): Parabole d'acc l ration n gative
        (160-220  )\n")
    f.write("  Segment (4,5): Parabole de d  c  l  ration n gative
        (220-280  )\n\n")

    f.write("POINTS DE LA COURBE:\n")
    f.write("-" * 40 + "\n")
    f.write("Index\tAngle(  )\tLev e(mm)\tX\t\tY\n")
    f.write("-" * 80 + "\n")

    for i, (angle_deg, lev e) in enumerate(points_loi):
        f.write(f"{i +1:03d}\t{angle_deg:8.2f}\t{lev e:10.3f}\t{
            angle_deg:10.3f}\t{lev e:10.3f}\n")

print("Donn es sauvegard es dans:")
print("  - loi_parabolique_detailed.txt (rapport complet)")
print("  - loi_parabolique_actionneur.png (graphique)")
if 'points_loi_parabolique.csv' in locals():
    print("  - points_loi_parabolique.csv (points pour import)")

print("\n" + "=" * 80)
print("PROCESSUS TERMIN  AVEC SUCC S!")
print("=" * 80)
print("\nR  sum  :")
print(f"   Graphique Python c r   et affich ")
print(f"   Courbe trac e dans CATIA V5 (X=angle, Y=lev e)")
print(f"   {len(points_loi)} points g  n  r  s")
print(f"   4 segments paraboliques conformes    votre description")
print(f"   Lev e maximale: {h_max} mm atteinte    {theta_mont e}  "
    )
print("=" * 80)
```

Listing 1 – Génération de spline avec la méthode win23 pour loi parabolique (loi-parabolique.py)

Télécharger le script complet

2. Les composants de base du produit à simuler

Le mécanisme complet comprend les fichiers CATPart suivants : (Vous pouvez télécharger les différentes pièces sur notre github)

Fichier	Description	Lien Git Hub
`suiveur.part`	Tige suiveuse avec guide prismatique	suiveur.part
`came.part`	Profil de came parabolique	came.part
`galet.part`	Galet du poussoir	galet.part
`S0.part`	Bâti fixe de référence	S0.part

TABLE 1 – Fichiers CATPart du mécanisme

Visualisation des composants :

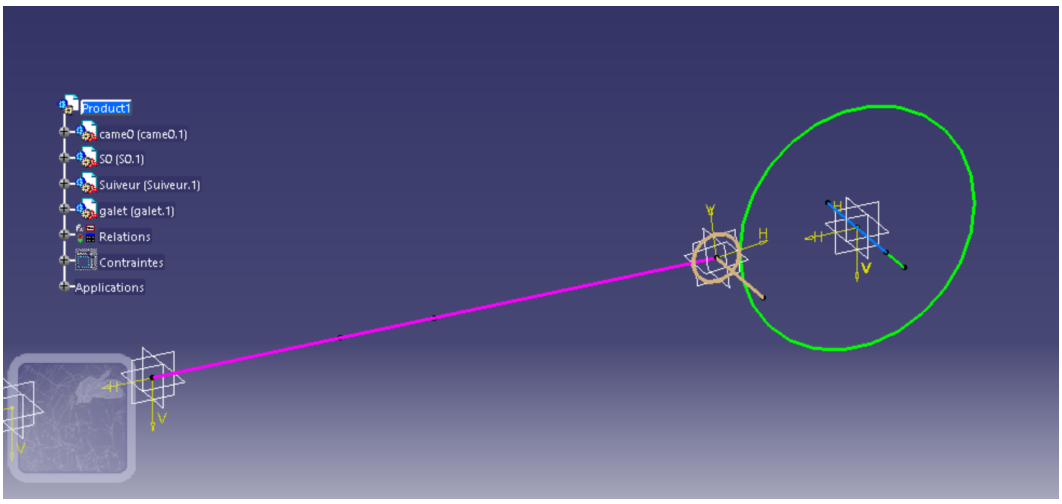


FIGURE 4 – Vue en mode filaire des composants principaux

3. Les liaisons du mécanisme

les liaisons à définir sur Catia V5 :

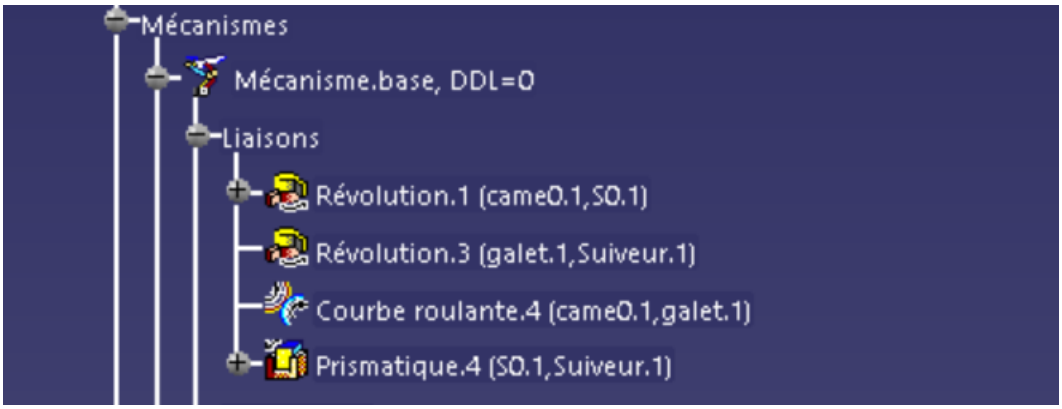


FIGURE 5 – Atelier-kinematics

1. **Révolution** entre **came** [9] et **S0** [10] (centre de rotation)

9. *Terme technique : came*
10. *Terme technique : S0*

2. **Révolution** entre **galet** [11] et **tige suiveuse** [12]
3. **Prismatique** entre **S0** [13] et **tige suiveuse** [14]
4. **Courbe roulante** entre **poussoir** [15] et **galet** [16] (liaison principale critique)
5. **Fixe** pour **S0** [17] (bâti)

4. Méthode de traçage du profil de la came

Profil de la came

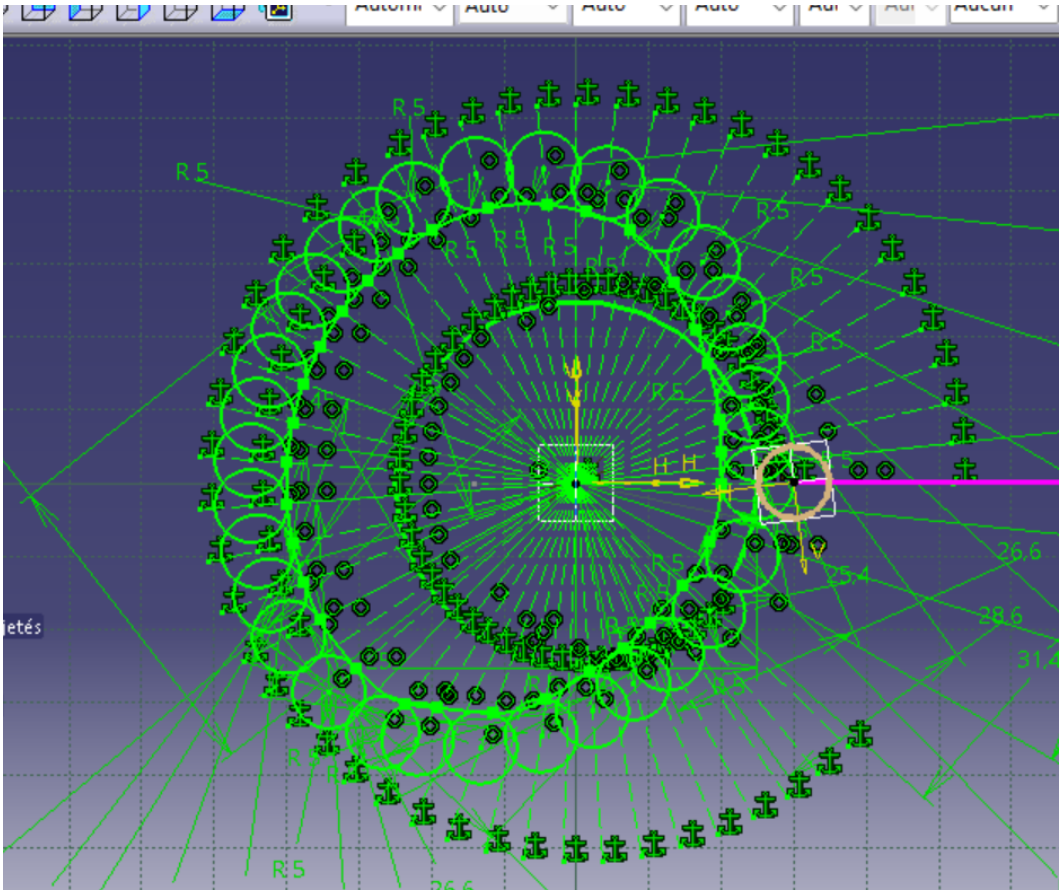


FIGURE 6 – Sketch du profil parabolique

1. **Tracer le cercle de base** :
   — Centre : centre de rotation de la came

11. *Terme technique : galet*
12. *Terme technique : tige suiveuse*
13. *Terme technique : S0*
14. *Terme technique : tige suiveuse*
15. *Terme technique : poussoir*
16. *Terme technique : galet*
17. *Terme technique : S0*

   - Rayon : distance minimale centre-came → point de contact avec le poussoir
2. **Diviser le cercle de base** en secteurs angulaires correspondant au diagramme de levée
3. **Mesurer la hauteur de levée** sur le diagramme et la reporter à l'extérieur du cercle de base
4. **Tracer la courbe enveloppe** des points de contact avec corrections selon :
   - Type de poussoir : sabot, plateau tangent, galet
   - Position de l'axe : centré ou excentré

Méthode des arcs de parabole : Les arcs de parabole sont tracés comme suit : La construction du profil de la came sous **CATIA** repose sur la loi de levée décrite précédemment et peut être réalisée selon plusieurs méthodes, en fonction du niveau de maîtrise et des habitudes du concepteur. Elle peut faire appel à différents outils avancés du logiciel, tels que la **diversification optimisée**, les **Power Copy**, les opérations de **rotation**, les **miroirs**, ainsi que la création d'**esquisses entièrement projetées**, ensuite isolées et rigoureusement définies par des **contraintes géométriques**. Des opérations de **translation** peuvent également être utilisées pour ajuster le positionnement des éléments.

Dans le cas étudié, le profil final de la came est obtenu par la **combinaison cohérente de l'ensemble de ces outils**, permettant d'aboutir à une géométrie conforme à la loi parabolique imposée. Pour la phase de levée (0, 120°), diviser MM' en sous-segments égaux au nombre de divisions angulaires.
Le tracé d'une came consiste à déterminer, dans un premier temps, son **profil théorique** à partir du **diagramme espace–temps**, en s'appuyant sur un **cercle minimal**. À partir de ce profil théorique, on obtient ensuite le **profil pratique** de la came en traçant une série de **cercles concentriques** de rayon égal à celui du galet, puis en déterminant la **courbe enveloppe** tangente à ces cercles. Afin de simplifier l'analyse géométrique, on adopte généralement l'hypothèse selon laquelle la **came est considérée fixe**, tandis que le **suiveur** est supposé tourner en **sens inverse** du sens réel de rotation de la came.

La méthode générale de tracé se décompose en plusieurs étapes fondamentales. Elle débute par la définition des données géométriques et cinématiques, telles que le **diamètre du galet**, le **rayon minimal de la came** (correspondant à la levée nulle), le **sens de rotation**, ainsi que le **diagramme espace–temps** représentant l'évolution de la levée. On procède ensuite au tracé du **cercle minimal**, qui est divisé en un nombre de secteurs angulaires égaux, identiques à ceux du diagramme espace–temps. Les **courses** relevées sur ce diagramme sont alors reportées radialement à partir du cercle minimal afin de déterminer les positions successives du centre du galet.

Pour chaque position obtenue, on trace un cercle de rayon égal à celui du galet. La **courbe enveloppe** de l'ensemble de ces cercles constitue le **profil pratique de la came**. Dans le cas particulier d'une **came à contact direct (poussoir à sabot)**, le profil pratique est confondu avec la courbe obtenue par le report direct des levées depuis le cercle minimal.

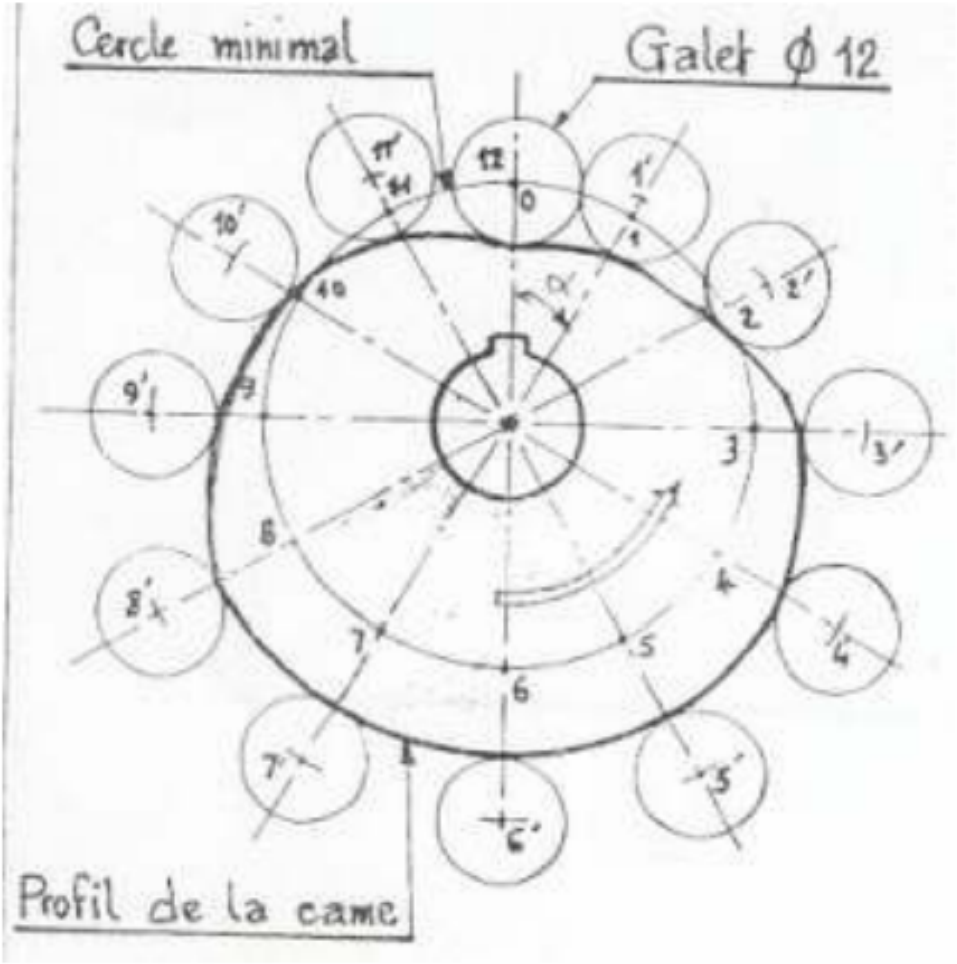


FIGURE 7 – Dessin explicatif du tracer

5. Construction du profil sur CATIA

Outils CATIA utilisés :

- **PowerCopy** [18] : Pour réplication de motifs
- **Rotations** [19] et **Miroirs** [20] : Pour symétries
- **Esquisse_tout projetée** [21] : Projection complète

18. *Terme technique : PowerCopy*
19. *Terme technique : Rotations*
20. *Terme technique : Miroirs*
21. *Terme technique : Esquisse_tout projetée*

— **Contraintes**[22] : Fixation géométrique

— **Translations**[23] : Déplacement de profils

Procédure détaillée :

1. Import des points CSV générés par Python ou Macro Excel
2. Création d'une **spline**[24] passant par tous les points
3. Projection dans l'esquisse de la came
4. Application des rotations nécessaires pour fermer le profil
5. Vérification de la continuité tangente (G1) et courbure (G2)

6. Procédure d'obtention du profil parfait

Premier mécanisme de test

1. Création d'un mécanisme de base avec profil circulaire
2. Commande de la liaison prismatique avec la loi parabolique importée
3. Comparaison avec commande simple de révolution

Résultat initial : Le système n'évolue pas correctement comparé à la commande simple de révolution. Cause identifiée : profil mal construit suivant la loi parabolique.

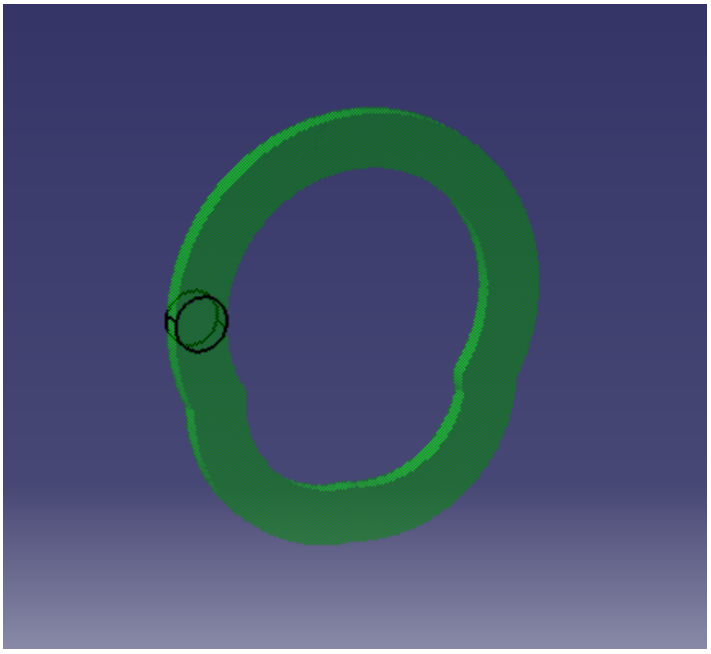


FIGURE 8 – Image montrant une enveloppe générée par l'outil de balayage

22. *Terme technique : Contraintes*
23. *Terme technique : Translations*
24. *Terme technique : spline*

FIGURE 9 – outil de balayage

Amélioration par balayage d'enveloppe

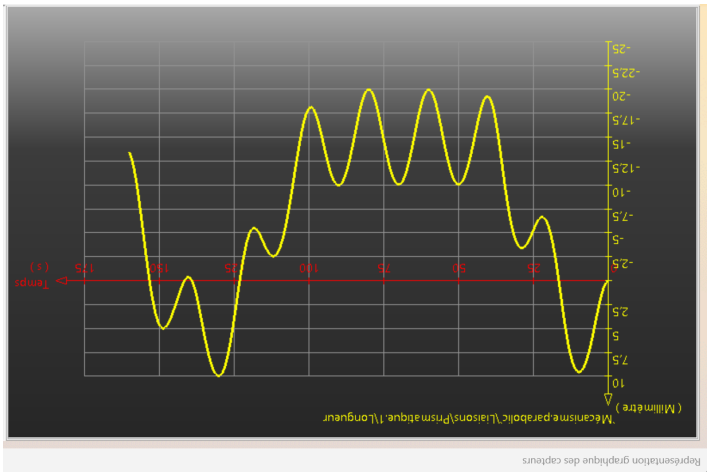


FIGURE 10 – Essai A - Courbe obtenue (défauts visibles)

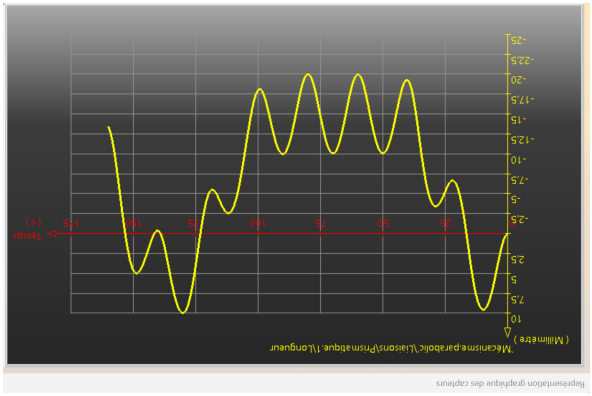
— Génération du volume balayé par le poussoir (enveloppe)
— Visualisation des interférences et zones problématiques
— Correction itérative du profil

Itérations successives :

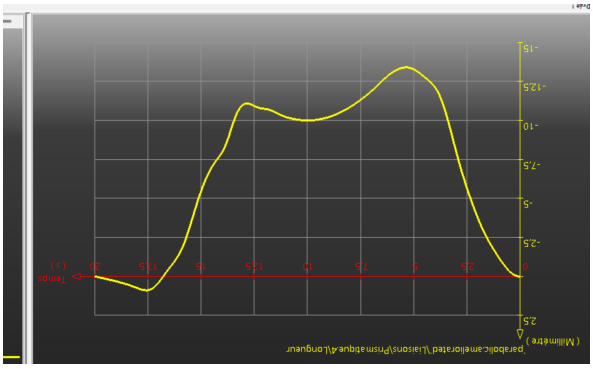
Dans une phase d'amélioration du profil, des **balayages de volume**, appelés **enveloppes**, sont générés afin de visualiser le volume effectivement balayé par le poussoir au cours du mouvement. Cette analyse permet d'identifier les zones du profil de la came présentant des écarts ou des défauts de tracé. Les portions concernées du profil sont alors revues et corrigées, donnant lieu à des améliorations successives de la conception. Après chaque modification, le **graphique de levée obtenu** est de nouveau visualisé et comparé à la **courbe théorique de référence**. Les résultats sont analysés à travers plusieurs essais successifs (**Essai A**, **Essai B**, **Essai C**), mettant en évidence une convergence progressive du comportement réel du mécanisme vers le comportement attendu. Cette démarche itérative est poursuivie jusqu'à l'obtention d'un profil de came présentant une conformité quasi parfaite avec la loi de levée imposée.

Essai	**État**	**Observations**
A	Échec	Profil incorrect, discontinuités dans le mouvement
B	Amélioration	Transitions améliorées mais encore des défauts
C	Presque parfait	Graphique s'approche de la forme idéale
Final	Validé	Forme conforme à la loi parabolique

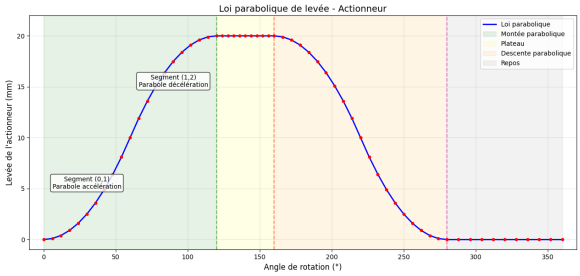
Table 2 – Itérations d'amélioration du profil



Essai B - Amélioration



Essai C - Proche du but



La forme attendue

FIGURE 11 – Évolution du profil à travers les itérations

Conclusion

La conception d'un profil de came avec loi parabolique pour un poussoir à galet axe-centré nécessite une approche méthodique et itérative. Les points clés de réussite sont :

— **Précision du tracé** : Utilisation d'outils numériques (Macro GSD-Excel-Catia,Python, CATIA) pour générer les points exacts
— **Vérification itérative** : Comparaison constante entre le mouvement théorique et simulé

— **Enveloppe de balayage** : Outil essentiel pour visualiser les défauts du profil
— **Validation cinématique** : Test complet du mécanisme dans son environnement de simulation

Le profil final obtenu garantit une transition douce entre les phases de mouvement et minimise les chocs dynamiques, conformément aux exigences de la loi parabolique.

Annexe

Ressources complémentaires

— Veuillez contacter l'adresse indiquée ci-dessous pour obtenir les autres documents complets, notamment le **Tome II**, le **Tome III**, et les volumes suivants.
— Bibliothèque de lois de mouvement (parabolique, sinusoïdale, modifiée)
— Scripts Python avancés avec interface graphique
— Macros CATIA pour automatisation complète

Paramètres recommandés pour ce projet

— Rayon de base : 25 mm
— Levée maximale (0A) : 20 mm
— Diamètre du galet : 5X2 mm
— Excentrement : 0 mm (axe-centré) : [Problème à resoudre avec outil translation]

Contacts et informations

— **Auteur** : Koudaya Kossi Boris
— Mon Manager sur (+212) 719-737036
— **Email institutionnel** : kossiboris_koudaya@um5.ac.ma
— **GitHub** : Référentiel complet
— **Version du document** : 1.0 (Décembre 2025)
— **Mots-clés** : Came, profil parabolique, poussoir galet, CATIA, Python, simulation