

## Chapitre II

# Modélisation de la trajectoire des outils de coupe pour l'évidement des poches

## II.1 Introduction

La connaissance de la trajectoire des outils de coupe pour l'évidement des poches repose essentiellement sur les méthodes d'exécution ainsi que sur les ressources de fabrication.

Nous proposons donc une modélisation de trajectoires des outils de coupe en utilisant les trois stratégies d'usinage précédentes, En prenant trois formes triangulaire , rectangulaire et circulaire . ce chapitre se décompose en deux parties. La première est concentrée sur le développement d'un modèle d'évidement de la partie intérieure de la poche. La deuxième partie consiste a la reprise des coins.

## II.2 Modèle analytique de la trajectoire d'outil de coupe pour la partie intérieure

### II.2.1 L'évidement des poches triangulaires

En général, l'opération d'usinage se compose de trois opérations élémentaires (ébauche, demi-finition et finition). Dans le cadre de la génération du processus d'usinage, nous avons appliqué les techniques d'évidement de poche à l'ébauche des cavités simples et profondes.

Les paramètres de la poche sont : trois côtés ( $L_{01}$ ,  $L_{02}$  et  $L_{03}$ ), trois angles  $\alpha_i$ , trois rayons de raccordement  $r_i$  ( $i = 1, 2, 3$ ). La figure présente le contour d'une poche de forme triangulaire avec les différents paramètres.

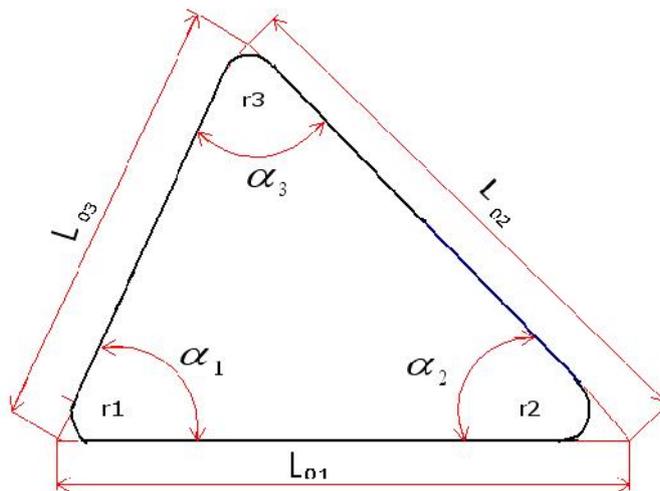


Figure II.1. Paramètres d'une poche de contour triangulaire

#### a. Stratégie Zig Zag

- Calcul de La hauteur (h)

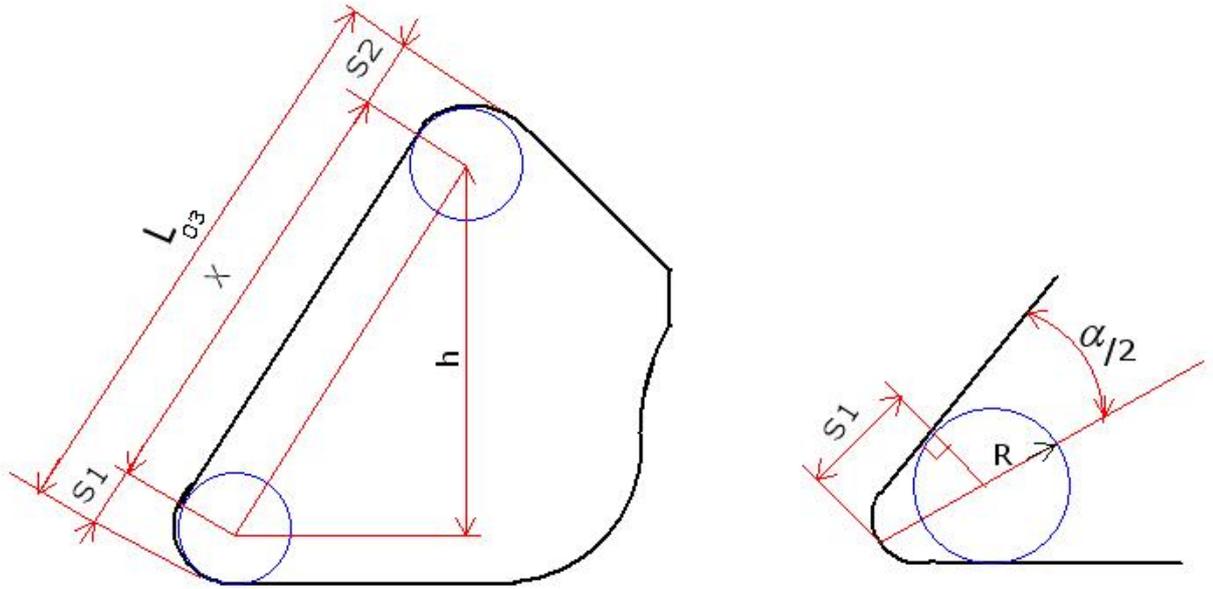


Figure II.2. Représentation géométrique de h

On a :

$$\sin r_1 = \frac{h}{x} \Rightarrow h = x \sin r_1$$

Avec :

$$x = L_{03} - s_1 - s_2$$

et

$$\cotg \left( \frac{r_1}{2} \right) = \frac{s_1}{R} \Rightarrow s_1 = R \cotg \left( \frac{r_1}{2} \right)$$

Et la même chose pour  $s_2$  :

$$s_2 = R \cotg \left( \frac{r_3}{2} \right)$$

X devient

$$x = L_{03} - R \cotg \left( \frac{r_1}{2} \right) - R \cotg \left( \frac{r_3}{2} \right)$$

Alors :

$$h = \left[ L_{03} - R \cotg \left( \frac{r_1}{2} \right) - R \cotg \left( \frac{r_3}{2} \right) \right] \sin r_1 \quad (\text{II.1})$$

- Calcul de l'incrément (p)

Le nombre d'incréments est donné par l'équation suivante:

$$n = E\left(\frac{h}{2...R}\right) + 1 = E\left[\frac{\left[L_{03} - R \cotg\left(\frac{r_1}{2}\right) - R \cotg\left(\frac{r_3}{2}\right)\right] \sin r_1}{2...R}\right] + 1 \quad (\text{II.2})$$

Avec : ... < 1 Coefficient de recouvrement d'usinage.

Calcul de E :

On distingue deux cas :

1<sup>er</sup> cas :  $\frac{h}{2...R} = k$  tel que  $k$  : nombre entier

$$\text{Alors } E\left(\frac{h}{2...R}\right) + 1 = \frac{h}{2...R} - 1 + 1 \Rightarrow E = 1 - \frac{2...R}{h}$$

2<sup>ème</sup> cas :  $\frac{h}{2...R} = k + v$  tel que :  $v$  : nombre réel compris entre 0 et 1.

$$E = \frac{\text{integer}\left(\frac{h}{2...R}\right)}{\frac{h}{2...R}}$$

L'incrément « p » entre deux passes est calculé pour un nombre entier « n », il est exprimé par l'équation :

$$p = \frac{\left[L_{03} - R \cotg\left(\frac{r_1}{2}\right) - R \cotg\left(\frac{r_3}{2}\right)\right] \sin r_1}{n} \quad (\text{II.3})$$

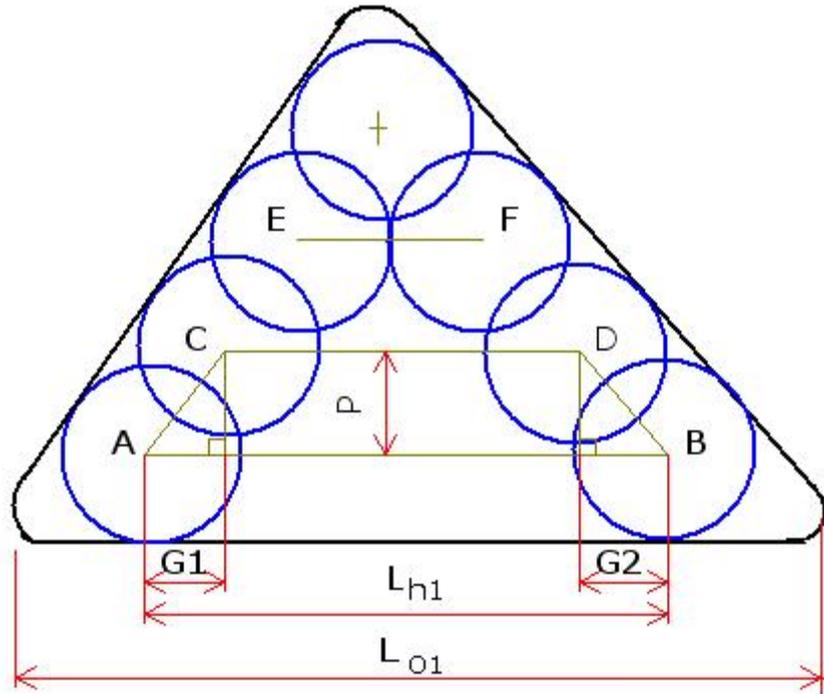


Figure II.3. Segments horizontaux.

- Longueur des segments horizontaux

Le nombre de segments horizontaux égal :  $n + 1$

La longueur totale des segments horizontaux est :

$$L_h = \sum_{i=1}^{n+1} L_{hi} \quad (\text{II.4})$$

Avec :

$$L_{h1} = L_{o1} - R \cotg \left( \frac{r_1}{2} \right) - R \cotg \left( \frac{r_2}{2} \right)$$

$$\text{Et } L_{h2} = L_{h1} - G_1 - G_2$$

Alors que :

$$\cotg r_1 = \frac{G_1}{p} \Rightarrow G_1 = p \cotg r_1 \text{ et } G_2 = p \cotg r_2$$

Donc :

$$L_{h2} = \left[ L_{o1} - R \cotg \left( \frac{r_1}{2} \right) - R \cotg \left( \frac{r_2}{2} \right) - p(\cotg r_1 + \cotg r_2) \right]$$

$$L_{hi} = \left[ L_{0i} - R \cotg \left( \frac{r_1}{2} \right) - R \cotg \left( \frac{r_2}{2} \right) - p(i-1)(\cotg r_1 + \cotg r_2) \right]$$

La longueur totale des segments horizontaux devient :

$$L_h = \sum_{i=1}^{n+1} \left[ L_{0i} - R \cotg \left( \frac{r_1}{2} \right) - R \cotg \left( \frac{r_2}{2} \right) - p(i-1)(\cotg r_1 + \cotg r_2) \right] \quad (II.5)$$

Avec :  $n = \text{entier} \left( \frac{lv * \sin r_2}{p} \right)$

Et :  $lv = L_{02} - R * \cot \frac{r_2}{2} - R * \cot \frac{r_3}{2}$

(II.6)

- Modèle analytique de la trajectoire entre incréments  $L_m$

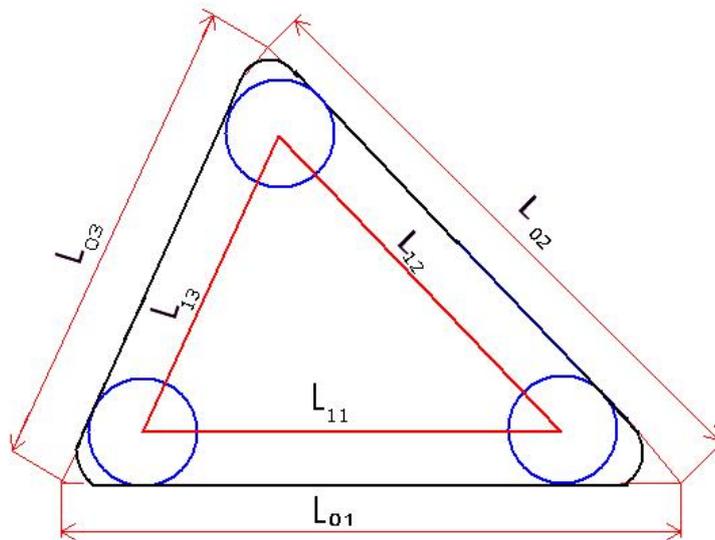


Figure II.4. Segments de contournage.

$$L_m = \frac{L_{12}}{2} + \frac{L_{13}}{2}$$

$$L_{12} = L_{02} - R \left( \cot g \left( \frac{r_2}{2} \right) + \cot g \left( \frac{r_3}{2} \right) \right)$$

$$L_{13} = L_{03} - R \left( \cot g \left( \frac{r_1}{2} \right) + \cot g \left( \frac{r_3}{2} \right) \right)$$

Donc :

$$L_m = \frac{1}{2} \left[ L_{02} + L_{03} - R \left( \cot g \left( \frac{r_1}{2} \right) + \cot g \left( \frac{r_2}{2} \right) + 2 \cot g \left( \frac{r_3}{2} \right) \right) \right] \quad (II.7)$$

- Modèle analytique de la trajectoire de contournage  $L_c$

$$L_c = L_{11} + L_{12} + L_{13}$$

$$L_c = L_{01} + L_{02} + L_{03} - 2R \left( \cot g \left( \frac{r_1}{2} \right) + \cot g \left( \frac{r_2}{2} \right) + \cot g \left( \frac{r_3}{2} \right) \right)$$

(II.8)

- La longueur totale de la trajectoire de l'outil de coupe dans la partie intérieure «  $L_{pi}$  »

$$L_{pi} = L_h + L_m + L_c \quad (II.9)$$

### b. Stratégie contour parallèle

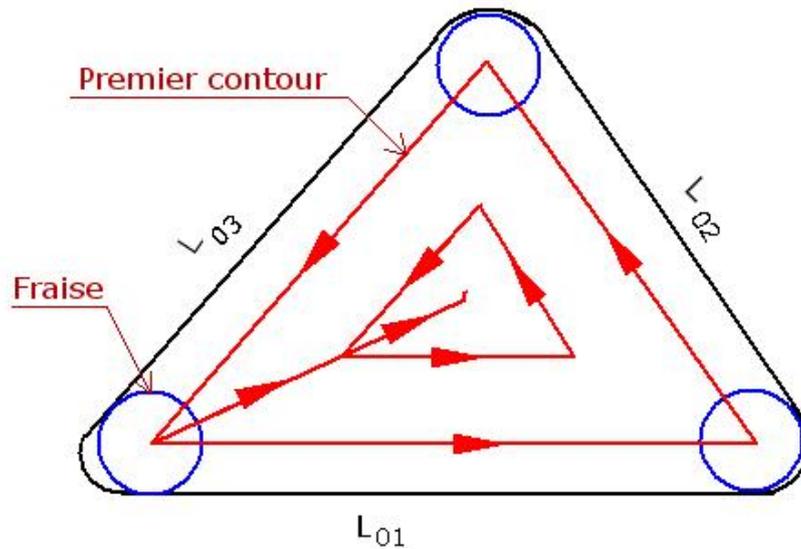


Figure II.5. Représentation des contours parallèles.

- Nombre d'incrément  $n$   
 $n$  : c'est le nombre de contours moins un.
- Calcul du segment de passage d'un contour a un autre  $X_i$

$$\text{On a : } \sin \frac{r_i}{2} = \frac{2 \dots R}{X} \text{ d'ou } X = \frac{2 \dots R}{\sin \frac{r_i}{2}}$$

$$\text{Alors : } X_i = X \times n \quad (II.10)$$

Longueur des contours

$$L_{pi} = L_{11} + L_{12} + L_{13} + L_{21} + L_{22} + L_{23} + L_{31} + L_{32} + L_{33} + \dots + L_{n1} + L_{n2} + L_{n3} + X_t$$

$$L_{ij} = L_{(i-1)j} - Y \left( \cot g \left( \frac{r_j}{2} \right) + \cot g \left( \frac{r_{j+1}}{2} \right) \right) \quad (\text{II.11})$$

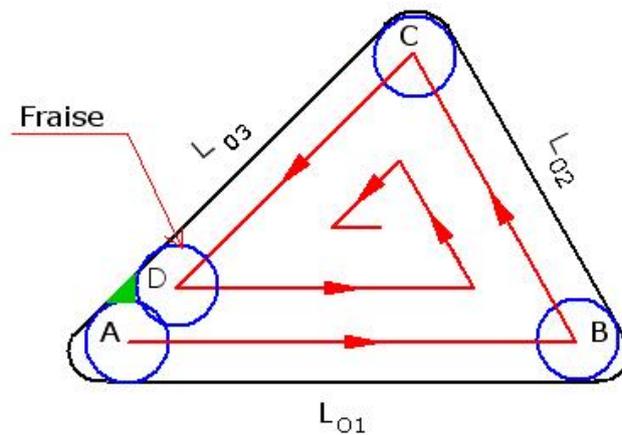
Avec :

$i = 1, \dots, n$  ( $n$  : Nombre de segments parallèles à chaque arête).

$j = 1, \dots, 3$  (Nombre des segments du contour).

- Lorsque  $j + 1$  dépasse le nombre des segments du contour ( $m$ ) on pose  $j + 1 = 1$  vu que le contour est fermé.
- Pour déterminer la longueur du premier contour on pose  $Y = R$  outre  $Y = 2 \dots R$
- Le calcul s'arrête lorsque la longueur du dernier contour sera égale à zéro.

**c. Stratégie contour spirale**



**Figure II.6.** Représentation de la trajectoire spirale.

- Nombre d'incrément  $n$   
 $n$  : c'est le nombre de contours moins un.

- Longueur des contours

$$L_{pi} = L_{11} + L_{12} + L_{13} + L_{21} + L_{22} + L_{23} + L_{31} + L_{32} + L_{33} + \dots + L_{n1} + L_{n2} + L_{n3}$$

$$L_{ij} = L_{(i-1)j} - Y \left( \cot g \left( \frac{r_j}{2} \right) + \cot g \left( \frac{r_{j+1}}{2} \right) \right) \quad (\text{II.12})$$

Si  $i = 1$  et  $j = 3$

$$L_{ij} = L_{(i-1)j} - Y \left( \cot g \left( \frac{r_j}{2} \right) + \cot g \left( \frac{r_{j+1}}{2} \right) \right) + \overline{AD} \quad (\text{II.13})$$

Tel que :

$$\overline{AD} = \frac{2 \dots R}{\sin r_1}$$

## II.2.2 L'évidement des poches rectangulaire

Les paramètres de la poche sont : trois côtés ( $L_{01}, L_{02}, L_{03}$  et  $L_{04}$ ), quatre angles  $r_i$ , quatre rayons de raccordement  $r_i$  ( $i = 1, 2, 3, 4$ ). La figure présente le contour d'une poche de forme rectangulaire avec les différents paramètres .

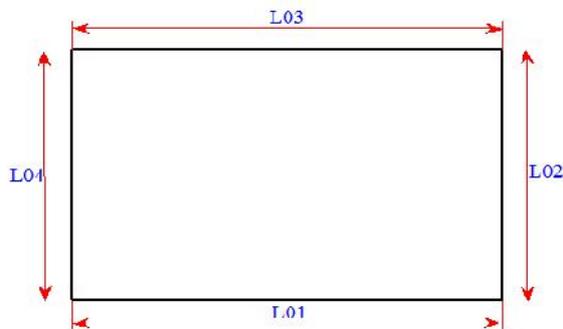


Figure II.7. Paramètres d'une poche de contour rectangulaire

### d. Stratégie Zig Zag

- Calcul de La hauteur (h)

La hauteur est donné par l'équation suivante :

$$h = (L_{02} - 2R)$$

(II.14)

- Calcul de l'incrément (p)

Le nombre d'incrément est donné par l'équation suivante:

$$n = E \left( \frac{h}{2 \dots R} \right) + 1 = E \left[ \frac{L_{02} - 2R}{2 \dots R} \right] + 1 \quad (\text{II.15})$$

Avec :  $\dots < 1$

Calcul de E :

On distingue deux cas :

1<sup>er</sup> cas :  $\frac{h}{2...R} = k$  tel que  $k$  : nombre entier

$$\text{Alors : } E \left( \frac{h}{2...R} \right) + 1 = \frac{h}{2...R} - 1 + 1 \Rightarrow E = 1 - \frac{2...R}{h} \quad (\text{II.16})$$

2<sup>ème</sup> cas :  $\frac{h}{2...R} = k + v$  tel que :  $v$  : nombre réel compris entre 0 et 1.

$$E = \frac{\text{integer} \left( \frac{h}{2...R} \right)}{\frac{h}{2...R}} \quad (\text{II.17})$$

L'incrément « p » entre deux passes est calculé pour un nombre entier « n », il est exprimé par l'équation :

$$p = \frac{(L_{02} - 2R)}{n} \quad (\text{II.18})$$

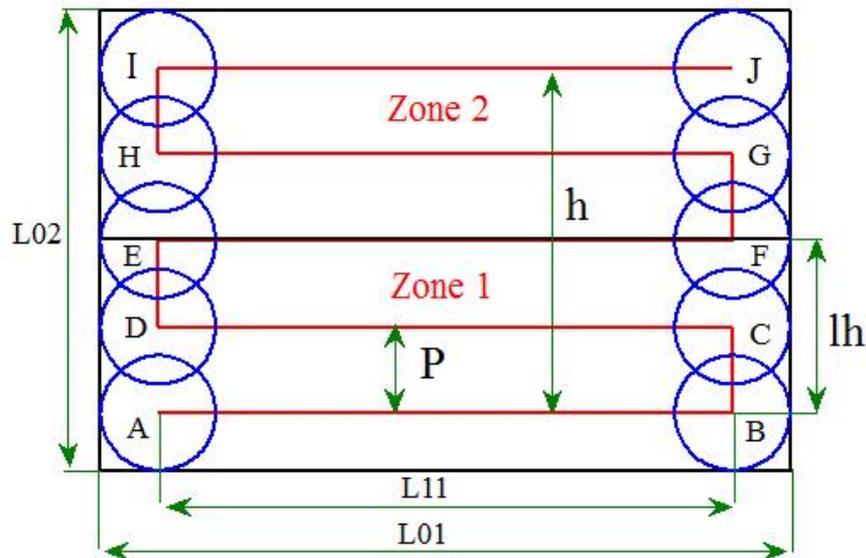


Figure II.8. Segments horizontaux.

- Longueur des segments horizontaux

Pour déterminer la longueur de la trajectoire d'un outil de coupe de rayon  $R$  on décompose la partie intérieure de la poche en deux zones (figure II.8). La longueur des segments horizontaux est déterminée zone par zone. On cherche pour chaque zone un modèle analytique pour calculer cette longueur, on aura  $L_n$  égale à la somme des  $L_{hi}$  relatives à chaque zone :

$$L_h = L_{h1} + L_{h2} \quad (\text{II.19})$$

- Longueur des segments horizontaux de la zone (1)  $L_{h1}$

Le nombre de segments horizontaux égal :  $n + 1$

$$L_h = (n + 1)(L_{11}) \quad (\text{II.20})$$

Avec:

$$L_{11} = L_{01} - 2R$$

La longueur totale des segments horizontaux de la zone (1) est :

$$L_{h1} = \sum_{i=1}^{n_1+1} [(i - 1)(L_{01} - 2R)] \quad (\text{II.21})$$

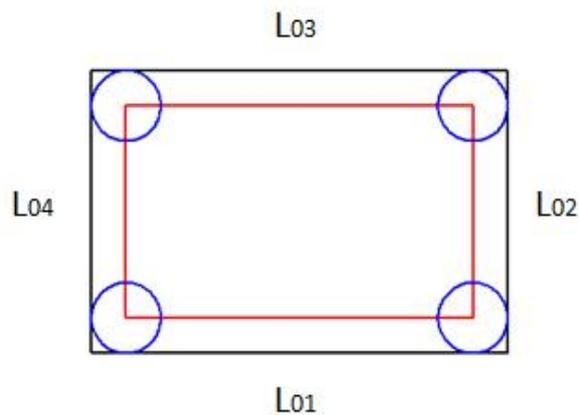
$$\text{Avec } n_1 = \text{entier} \left( \frac{lh}{p} \right)$$

$$\text{Et : } lh = \left( \frac{L_{02}}{2} - R \right)$$

- Longueur des segments horizontaux de la zone (2)  $L_{h2}$

$$L_{h2} = \sum_{i=1}^{n_2} [(i - 1)(L_{01} - 2R)] \quad \text{Avec : } n_2 = n - n_1 \quad (\text{II.22})$$

- Modèle analytique de la trajectoire entre incréments  $L_m$



**Figure II.9.** Segments de contournage.

$$L_m = \frac{L_{12}}{2} + \frac{L_{14}}{2}$$

$$L_{12} = L_{02} - 2R$$

$$L_{14} = L_{04} - 2R$$

Donc :

$$L_m = \frac{1}{2}(L_{02} + L_{04} - 4R) \quad (\text{II.23})$$

Et :  $L_{02} = L_{04}$

Alors :

$$L_m = L_{04} - 2R \quad (\text{II.24})$$

- Modèle analytique de la trajectoire de contournage  $L_c$

$$L_c = L_{11} + L_{12} + L_{13} + L_{14}$$

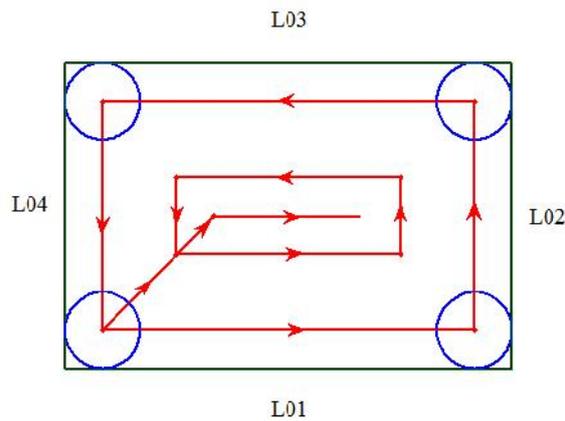
$$L_c = L_{01} + L_{02} + L_{03} + L_{04} - 8R$$

(II.25)

- La longueur totale de la trajectoire de l'outil de coupe dans la partie intérieure «  $L_{pi}$  »

$$L_{pi} = L_h + L_m + L_c \quad (\text{II.26})$$

**e. Stratégie contour parallèle**



**Figure II.10.** Représentation des contours parallèles.

- Nombre d'incrément  $n$   
 $n$  : c'est le nombre de contours moins un.
- Calcul du segment de passage d'un contour a un autre  $X_t$

$$\text{On a : } \sin \frac{r_i}{2} = \frac{2...R}{X} \text{ d'ou } X = \frac{2...R}{\sin \frac{r_i}{2}}$$

$$\text{Alors : } X_t = X \times n \quad (\text{II.27})$$

Longueur des contours

$$L_{pi} = L_{11} + L_{12} + L_{13} + L_{14} + L_{21} + L_{22} + L_{23} + L_{24} + L_{31} + L_{32} + L_{33} + L_{34} + \dots + L_{n1} + L_{n2} + L_{n3} + L_{n4} + X_t$$

$$L_{ij} = L_{(i-1)j} - Y \quad (\text{II.28})$$

Avec :

$i = 1, \dots, n$  ( $n$  : Nombre de segments parallèles à chaque arrête).

$j = 1, \dots, 4$  (Nombre des segments du contour).

- Lorsque  $j + 1$  dépasse le nombre des segments du contour ( $m$ ) on pose  $j + 1 = 1$  vu que le contour est fermé.
- Pour déterminer la longueur du premier contour on pose  $Y = 2R$  outre  $Y = 2...R$
- Le calcul s'arrête lorsque la longueur du dernier contour sera égale à zéro.

#### f. Stratégie contour spirale

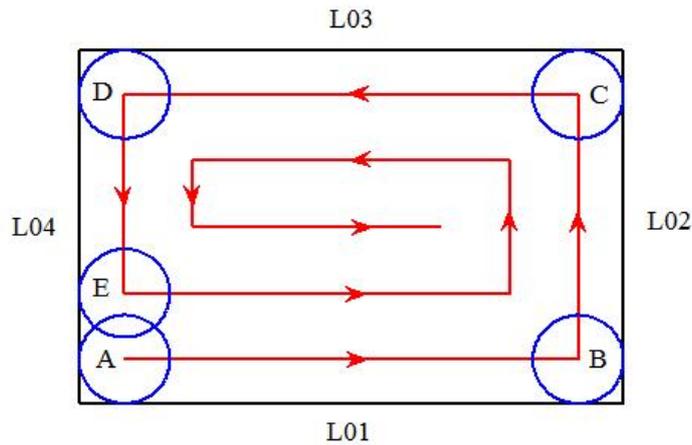


Figure II.11. Représentation de la trajectoire spirale.

- Nombre d'incrément  $n$   
 $n$  : c'est le nombre de contours moins un.
- Longueur des contours

$$L_{pi} = L_{11} + L_{12} + L_{13} + L_{14} + L_{21} + L_{22} + L_{23} + L_{24} + L_{31} + L_{32} + L_{33} + L_{34} + \dots + L_{n1} + L_{n2} + L_{n3} + L_{n4}$$

$$L_{ij} = L_{(i-1)j} - Y \tag{II.29}$$

Si  $i = 1$  et  $j = 4$

$$L_{ij} = L_{(i-1)j} - Y + \overline{AE}$$

Tel que :

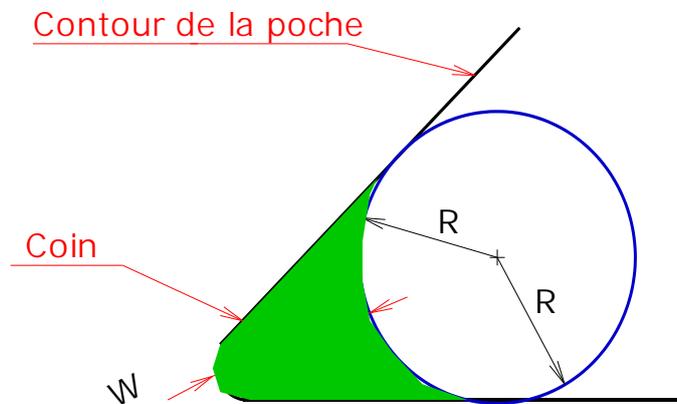
$$\overline{AE} = 2 \dots R$$

### II.3 Modèle analytique de trajectoires d'outils pour l'usinage des coins

Dans ce modèle, on utilise un seul outil de coupe pour usiner les quatre coins de la poche, cet outil doit avoir un rayon inférieur ou égal au rayon du plus petit raccordement.

#### II.3.1 Usinage des coins

L'usinage du coin nécessite tout d'abord la connaissance de la surépaisseur de la matière ( $w$ ) (figure II.12).



**Figure II.12.** Définition d'un coin.

#### II.3.1.1 Calcul de la surépaisseur de la matière ( $w$ )

A partir de la (figure II. 13).

On a :

$$w_i = w' + r_i \text{ tel que } i \text{ représente le coin ciblé } (i = 1, 2, 3 \text{ ou } 4)$$

$$\text{Et } \sin \frac{r_i}{2} = \frac{R-r_i}{w'+R} = \frac{R-r_i}{R+w_i-r_i}$$

$$\Rightarrow R-r_i = \sin \frac{r_i}{2} (R+w_i-r_i)$$

$$\Rightarrow \frac{R-r_i}{\sin \frac{r_i}{2}} = R+w_i-r_i \Rightarrow w_i = \frac{R-r_i}{\sin \frac{r_i}{2}} - R + r_i$$

$$\text{Alors : } w_i = (R-r_i) \left( \frac{1}{\sin \frac{r_i}{2}} - 1 \right) \quad (\text{II.30})$$

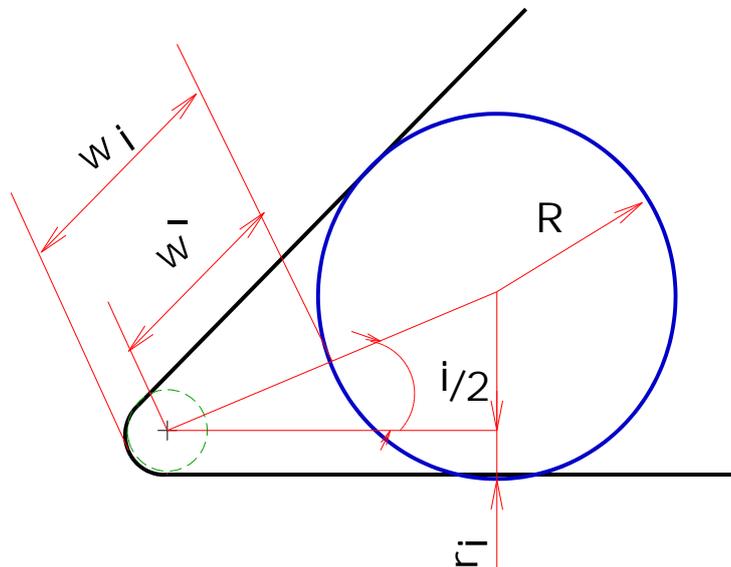


Figure II.13 Représentation de la surépaisseur  $W$ .

### II.3.1.2 Calcul de trajectoires d'outil

Dans le but de chercher la trajectoire de l'outil de reprise des coins, notre recherche montre qu'il existe plusieurs types de trajectoire en fonction des rayons de l'outil de reprise des coins. En effet, on peut distinguer les cas suivants d'évidement de coins :

**1<sup>er</sup> Cas :** Rayon de l'outil égal au rayon de raccordement et  $w_i < 2...R$  (figure II.14)

Dans ce cas on a :  $r_i = R_1$  et  $w_i < 2...R_1$  :

La trajectoire de l'outil :

$$L_{\text{coin}} = \overline{AB} + \overline{BC} \text{ avec } \overline{AB} = \overline{BC} \text{ donc } L_{\text{coin}} = 2\overline{AB}$$

$$\cotg \frac{r_i}{2} = \frac{\overline{AB}}{R - R_1}$$

D'ou :  $\overline{AB} = (R - R_1) \cotg \frac{r_i}{2}$

Alors :  $L_{\text{coin}} = 2(R - R_1) \cotg \frac{r_i}{2}$  (II.31)

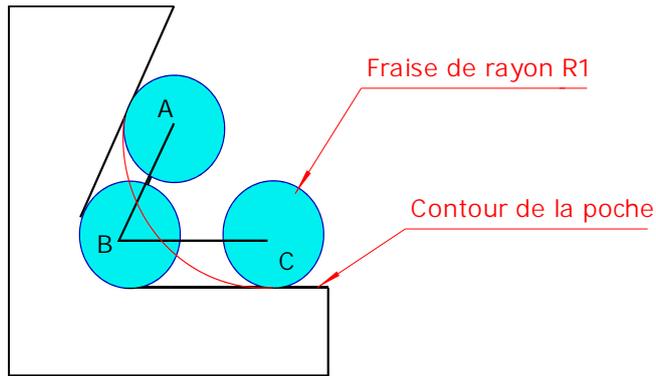


Figure II.14. Trajectoire de l'outil dans le 1er cas

2<sup>ème</sup> Cas : Dans ce deuxième cas (figure II.15) on a :  $R_1 < r_i$  et  $w_i < 2...R_1$

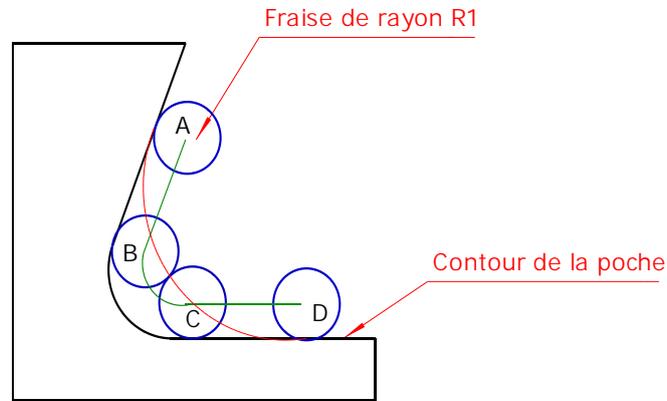


Figure II.15. Trajectoire de l'outil dans le 2ème cas.

La longueur de la trajectoire est exprimée par la relation suivante :

$$L_{\text{coin}} = 2(R - R_1) \cotg \frac{r_i}{2} + (r_i - R_1)(f - r_i)$$
 (II.32)

3<sup>ème</sup> Cas : Dans ce cas on a :  $w_i > 2...R_1$  et  $R_1 = r_i$

La stratégie appliquée pour l'usinage des coins est l'usinage en zigzag. La (figure II.16 a) représente la trajectoire de l'outil dans le cas où  $R_1 = r_i$ . Par contre la (figure II.16 b) montre la trajectoire de l'outil de coupe dans le cas où  $R_1 < r_i$ .

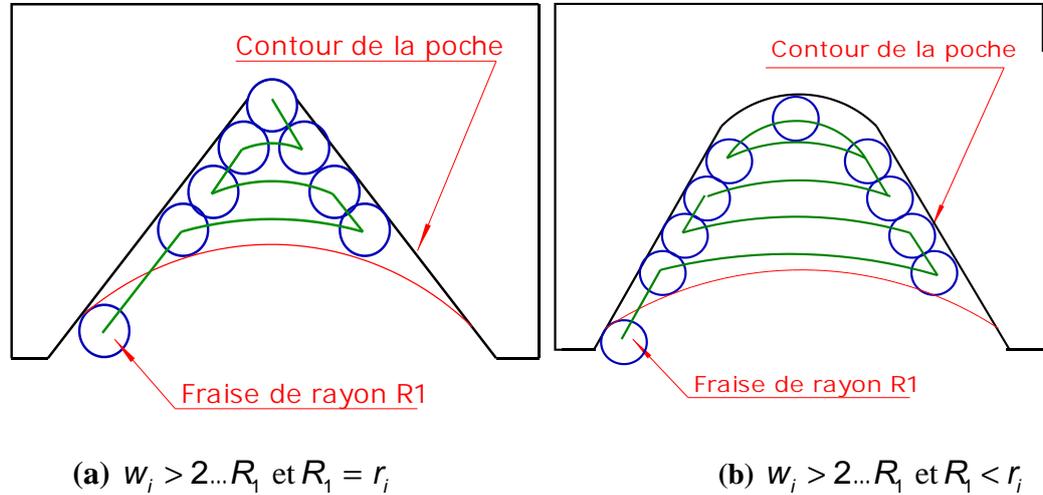


Figure II.16. Trajectoire de l'outil de coupe.

Dans ce cas la longueur de trajet de l'outil :  $L_{\text{coin}} = L + L_m + L_c + L_{\text{arc}}$

### II.3.1.3 Calcul de l'incrément

Le nombre d'incrément dans un coin est exprimé par la relation suivante :

$$n_c = E\left(\frac{\overline{BC}}{2...R_1}\right) + 1 \quad \text{Avec : } \overline{BC} = \overline{OB} - \overline{OD} - \overline{DC}$$

Dans le triangle OAB on a :

$$\sin \frac{r_i}{2} = \frac{\overline{OA}}{\overline{OB}} \quad \text{avec } \overline{OA} = R - R_1$$

$$\text{Donc : } \overline{OB} = \frac{R - R_1}{\sin \frac{r_i}{2}} \quad \text{Et } \overline{DC} = ...R_1, \overline{OD} = R$$

$$\text{Alors : } \overline{BC} = \frac{R - R_1}{\sin \frac{r_i}{2}} - (R + ...R_1)$$

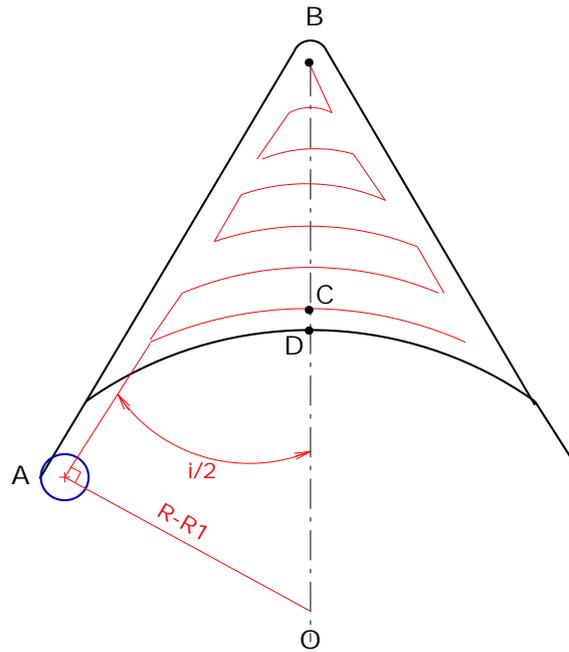


Figure II.17. Représentation des limites de trajectoire de l'outil dans le coin.

Le nombre d'incrément devient :

$$n_c = E \left( \frac{\frac{R - R_1}{\sin \frac{r_i}{2}} - (R + \dots R_1)}{2 \dots R_1} \right) + 1 \quad (\text{II.33})$$

Le pas corrigé (l'incrément) est exprimé par la relation suivante :

$$p_c = \frac{\frac{R - R_1}{\sin \frac{r_i}{2}} - (R + \dots R_1)}{n_c} \quad (\text{II.34})$$

II.3.1.4 Calcul de la longueur totale des arcs parallèles ( L )

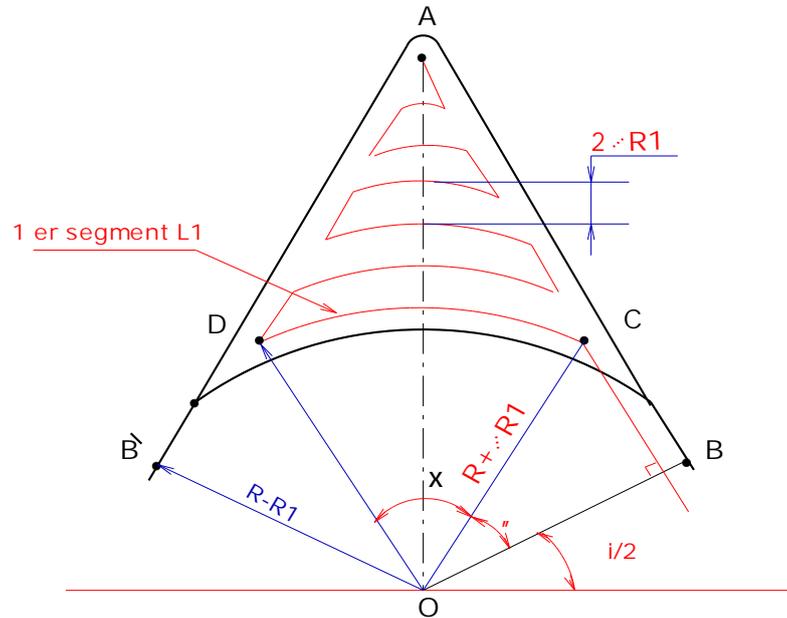


Figure II.18. Représentation des arcs parallèles.

La longueur totale des arcs parallèles est exprimée par la relation suivante :

$$L = \sum_{i=1}^n L_i$$

De la (figure II.18)

$$L_1 = \widehat{DC} = (R + \dots R_1) \alpha$$

$$\text{Avec : } \alpha = f - 2 \frac{r_i}{2} - 2 \alpha$$

$$\text{Alors que : } \cos \alpha = \frac{\overline{OB}}{\overline{OC}} = \frac{R - R_1}{R + \dots R_1} \Rightarrow \alpha = \cos^{-1} \left( \frac{R - R_1}{R + \dots R_1} \right)$$

$$\text{Donc : } \alpha = f - r_i - 2 \cos^{-1} \left( \frac{R - R_1}{R + \dots R_1} \right)$$

En remplaçons la valeur de  $\alpha$ ,  $L_1$  devient :

$$L_1 = (R + \dots R_1) \left[ f - r_i - 2 \cos^{-1} \left( \frac{R - R_1}{R + \dots R_1} \right) \right]$$

Et :

$$L_2 = (R + 3 \dots R_1) \left[ f - r_i - 2 \cos^{-1} \left( \frac{R - R_1}{R + 3 \dots R_1} \right) \right]$$

⋮

$$L_j = (R + (2i - 1) \dots R_1) \left[ f - r_j - 2 \cos^{-1} \left( \frac{R - R_1}{R + (2i - 1) \dots R_1} \right) \right] \quad , j = 1, \dots, 4$$

Alors la longueur totale est :

$$L = \sum_{i=1}^{n_c} \left[ (R + (2i - 1) \dots R_1) \left[ f - r_j - 2 \cos^{-1} \left( \frac{R - R_1}{R + (2i - 1) \dots R_1} \right) \right] \right] , j = 1, \dots, 4 \quad (\text{II.35})$$

### II.3.1.5 Calcul de la longueur de la trajectoire entre incréments ( $L_m$ )

De la (figure II.18) la longueur entre incréments :

$$L_m = \frac{\overline{AC}}{2} + \frac{\overline{AD}}{2} + \overline{BC} = \overline{AC} + \overline{BC} = \overline{AB}$$

On a :

$$\tan \frac{r_i}{2} = \frac{\overline{OB}}{\overline{AB}} = \frac{R - R_1}{\overline{AB}} \Rightarrow \overline{AB} = \frac{R - R_1}{\tan \frac{r_i}{2}} = (R - R_1) \cotg \frac{r_i}{2}$$

Alors :

$$L_m = (R - R_1) \cotg \frac{r_i}{2} \quad (\text{II.36})$$

### II.3.1.6 Calcul de la longueur des segments du contour ( $L_c$ )

La longueur des segments du contour est exprimée par la relation suivante :

$$L_c = 2(R - R_1) \cotg \frac{r_i}{2} \quad (\text{II.37})$$

Dans le cas où  $R_1 < r_i$  (figure II. 16 b) l'outil termine l'usinage du coin par balayage suivant un arc de rayon  $r_i - R_1$ , la longueur ( $L_{\text{arc}}$ ) de cet arc est exprimée par la relation

$$\text{suivante : } L_{\text{arc}} = (r_i - R_1) \left( \frac{f - r_i}{2} \right) \quad (\text{II.38})$$

La longueur de trajet de l'outil dans le 3<sup>ème</sup> cas est devenue :

$$L_{\text{coin}} = \left[ \sum_{i=1}^{n_c} \left[ (R + (2i - 1) \dots R_1) \left( f - r_i - 2 \cos^{-1} \left( \frac{R - R_1}{R + (2i - 1) \dots R_1} \right) \right) \right] \right] + 3(R - R_1) \cotg \frac{r_i}{2} + (r_i - R_1) \left( \frac{f - r_i}{2} \right) \quad (\text{II.39})$$

## II.4 L'évidement des poches circulaires

### II.4.1 Modèle analytique de la trajectoire d'outil de coupe pour la partie intérieure

- Stratégie contour parallèle

Les paramètres de la poche sont : un rayon de cercle  $R_c$ , l'angle de contour  $\dagger_i$

La figure présente le contour d'une poche de forme circulaires avec les différents paramètres.

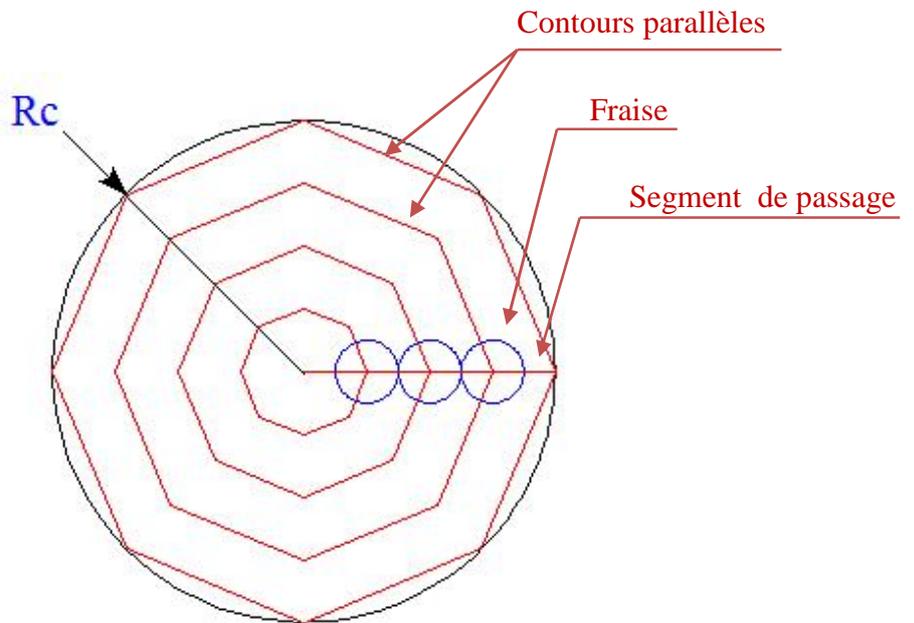


Figure II.19. Représentation des contours parallèles.

- Nombre d'incrément  $n$   
 $n$  : c'est le nombre de contours moins un.
- Calcul du segment de passage d'un contour a un autre  $X_i$

On a :  $X = 2 \dots R$  Alors :  $X_i = X \times n$

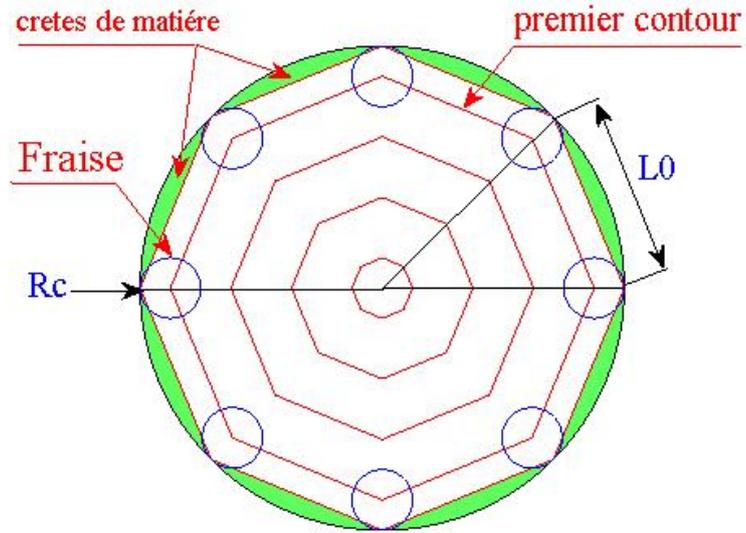


Figure II.20. Paramètres d'une poche de contour circulaire.

- Longueur des contours

$$L_s = 8(L_1 + L_2 + L_3 + \dots + L_n) + X_t$$

$$L_i = L_{(i-1)} - 2Y \left( \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) \right) \quad (\text{II.40})$$

Avec :

$i = 1, \dots, n$  ( $n$  : Nombre de segments parallèles à chaque arête).

- Pour déterminer la longueur du premier contour on pose  $Y = R$  ou  $Y = 2 \dots R$
- Le calcul s'arrête lorsque la longueur du dernier contour sera égale à zéro.

- Calcul de la longueur  $L_0$  :

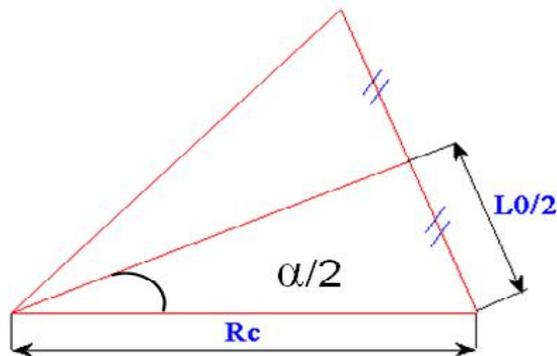


Figure II.21. La longueur  $L_0$  .

A partir de la figure II.21 :