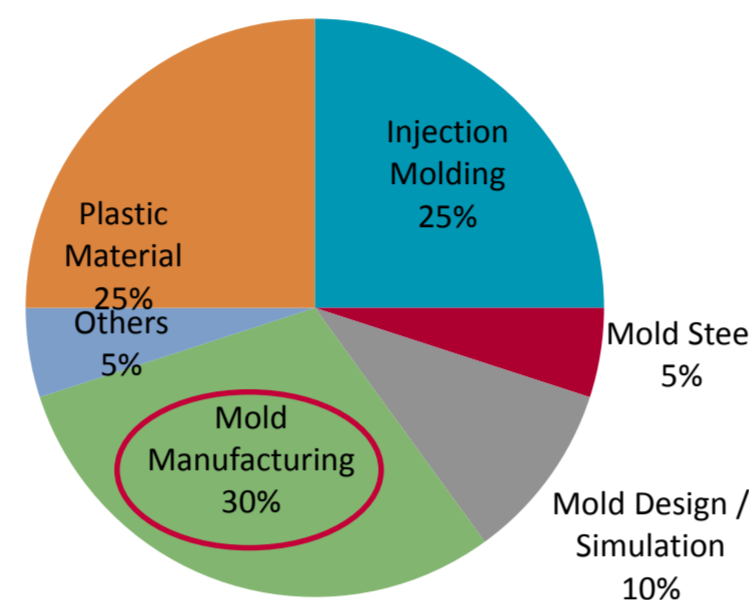


Dans l'industrie des biens manufacturés, la conception et la fabrication de moules et matrices représentent un aspect crucial de la chaîne de production. A elle seule, la fabrication d'un moule génère 30% du coût d'une pièce. Cette industrie, comme d'autres, est confrontée à une réduction importante des coûts de fabrication allant de pair avec un besoin de réactivité de plus en plus grand. Ces deux objectifs peuvent être rencontrés en diminuant le temps de fabrication des moules. C'est dans ce contexte qu'une optimisation de l'évidement des cavités trouve son sens.

Contexte industriel et économique

- **Economiquement**, l'industrie est confrontée à ...
 - Une réduction des coûts des produits finis
=> Optimisation de chaque étape de production
Or 30% du prix d'une pièce est attribuable à la fabrication du moule
=> Réduire ce coût est une grande source d'économie
 - La fabrication de petites séries = flexibilité de la fabrication
=> Diminuer le temps de fabrication des moules
 - Manque et coût de la main-d'œuvre qualifiée
=> Utilisation des nouvelles technologies (simulations, aides à la décision, ...)
- **Industriellement**, l'usinage à grande vitesse UGV devient une technologie fréquente. Elle demande une maîtrise ...
 - de la géométrie
 - de la dynamique de l'outil

Répartition typique des coûts pour un moule (250 000 pièces fabriquées)



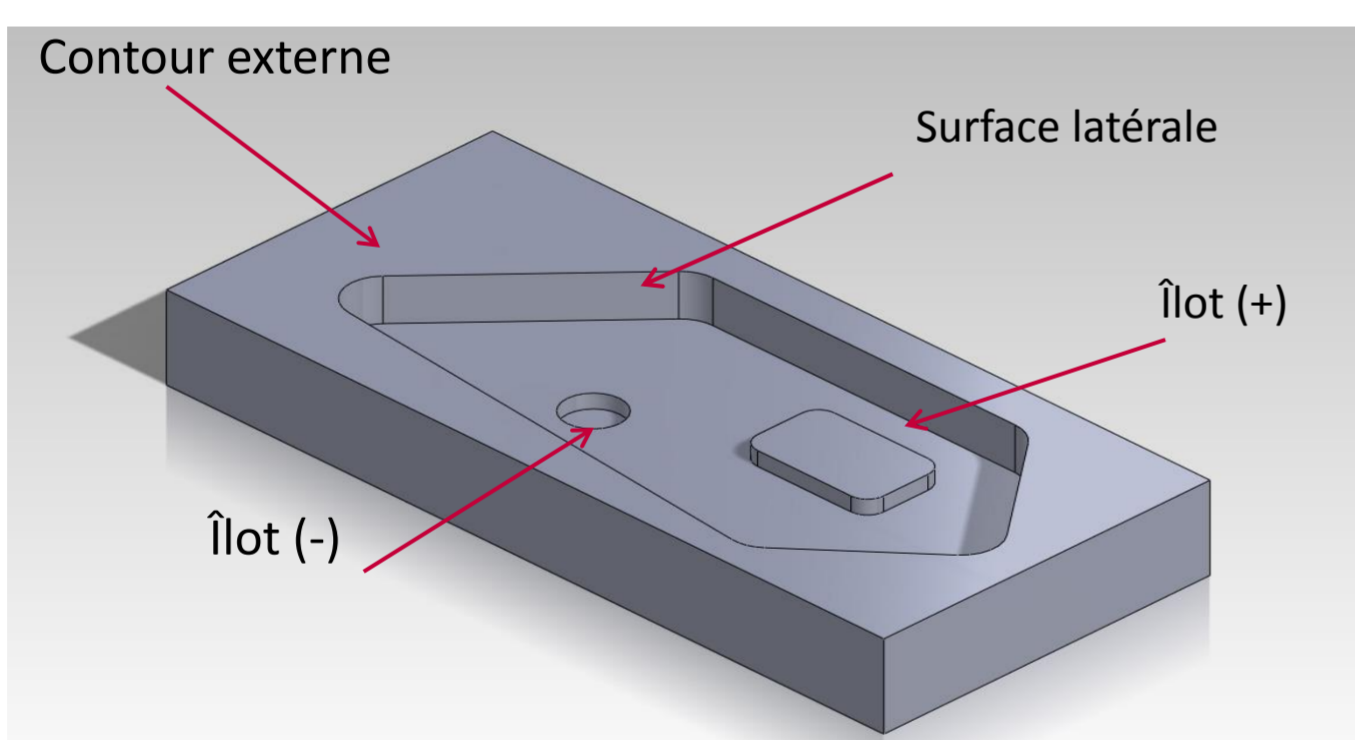
[Altan 2001]

Dans ce contexte, la trajectoire optimale de l'outil sera

- la plus continue possible en tangence (a min)
- avec une courbure faible et la plus constante possible (jerk min)

= L'UGV encourage la génération d'une trajectoire d'usinage FLUIDE

Typologie des cavités



Les caractéristiques d'une poche peuvent être très diverses:

- contour simple (segments et arcs) ou complexe (splines),
- extrudée ou pas,
- avec îlot(s) ou sans,
- ouverte ou fermée,
- profonde ou pas,
- plutôt convexe ou non, ...

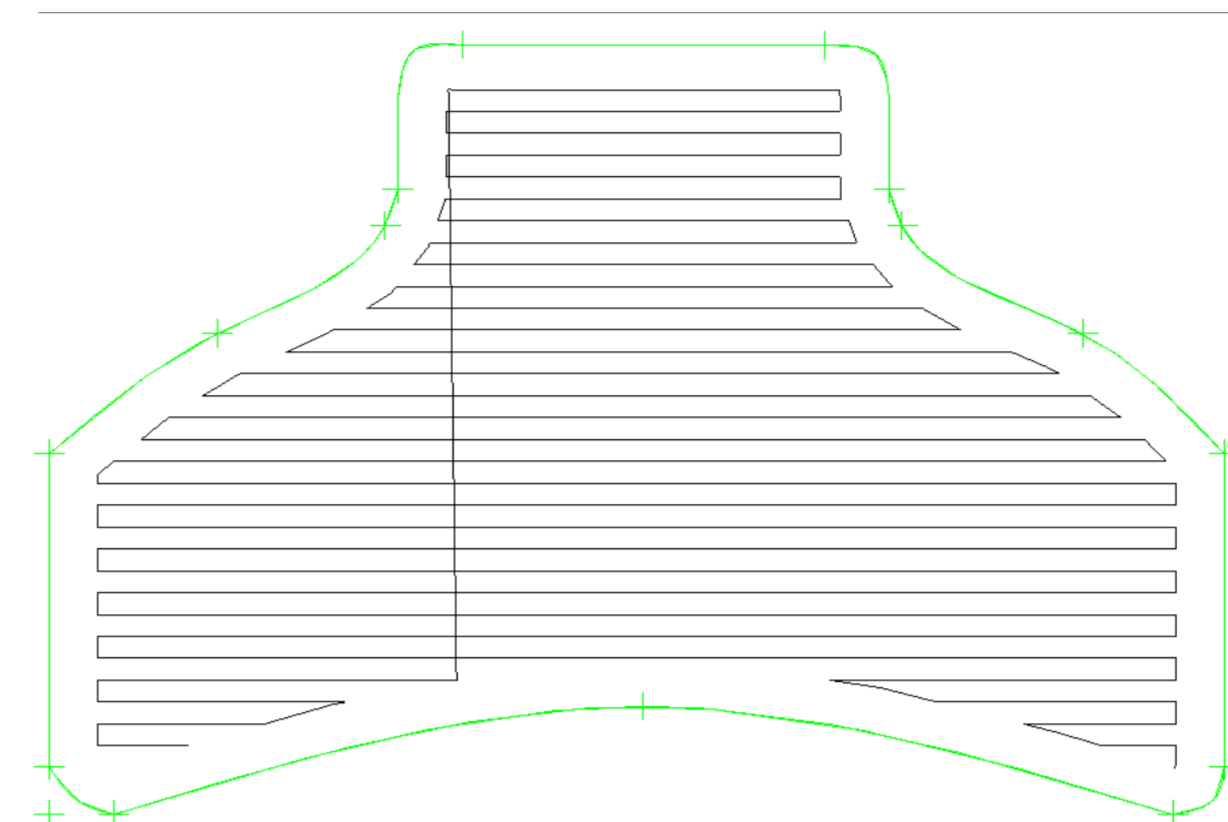
La diversité des poches rend la stratégie d'usinage complexe et donc son automatisation et son optimisation difficiles

Stratégies d'usinage

- Une stratégie d'usinage est donnée par:
 - une **trajectoire** d'usinage y compris des trajets d'entrée – sortie matière de l'outil
 - des paramètres opératoires (V_f , ...)
 - une prise en compte des limites machine (a, J, ...)
 - le choix d'un ou des outil(s) approprié(s)
- L'évidement se fait en 2 ou 3 étapes: ébauche, (semi-finition), finition.

Trajectoires Classiques

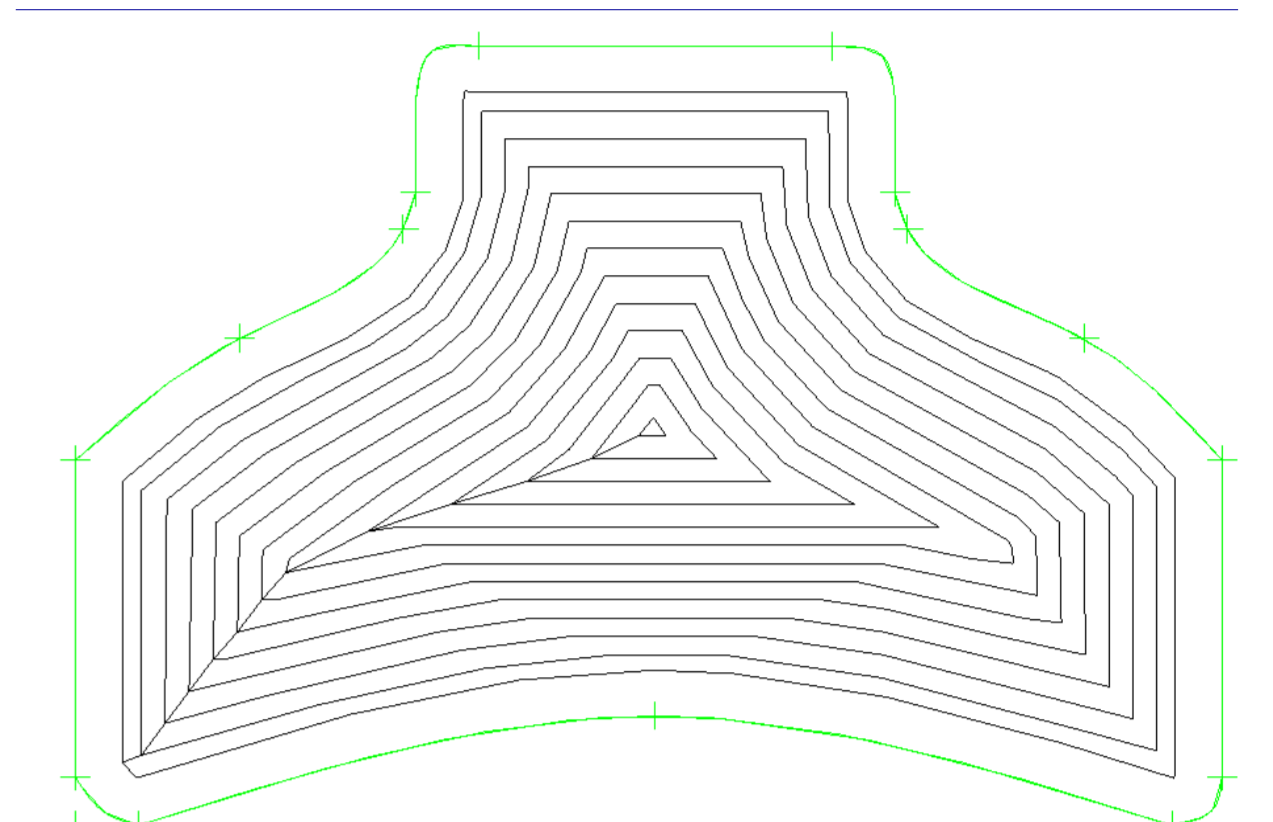
Zig-Zag



Cette trajectoire est

- facile à implémenter
- inefficace si îlots ou forme non convexe

Contour Parallèle



Cette trajectoire est

- plus difficile à implémenter
- fréquemment discontinue en tangence

Elles imposent souvent, l'une et l'autre, de nombreux arrêts et démarrages de l'outil, de multiples rétractions de la fraise, de fréquents trajets hors matière

Les trajectoire classiques d'évidement ne sont pas fluides et sont donc peu efficaces en UGV

L'idée originale de BIETERMAN

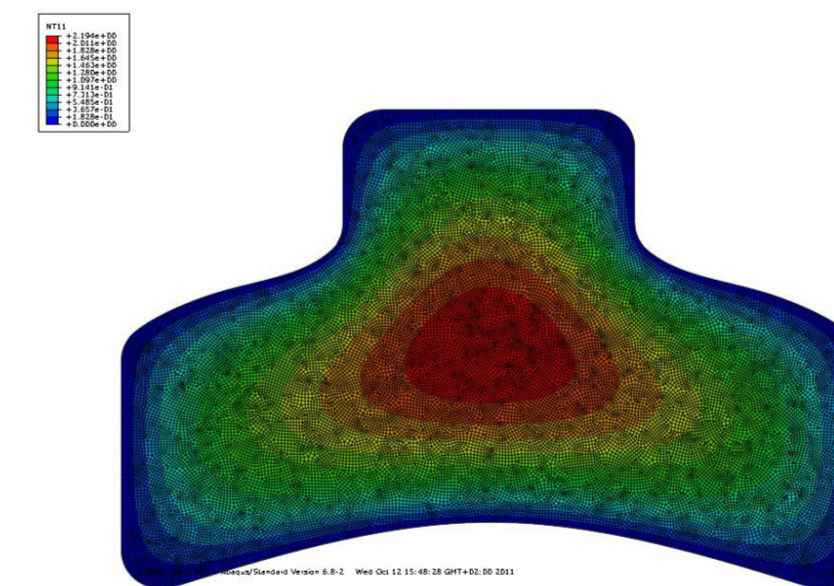
Les solutions de l'équation différentielle $-\Delta u=1$ sont réputées être des courbes FLUIDES. Pourquoi ne pas s'en servir pour construire une trajectoire en spirale? ([Bieterman 2003])

Thermiquement, cette équation revient à trouver le champ de températures stationnaires d'une plaque uniformément chauffée et maintenue à 0 [K] sur les bords.

$$Eq. \text{Chaleur} \Rightarrow \rho \cdot c \cdot \frac{\partial T}{\partial t} = \vec{\nabla} \cdot (\lambda \cdot \vec{\nabla} T) + q \xrightarrow{\text{Etat Stat}} -\Delta T = \frac{q}{\lambda} \Rightarrow -\Delta T = 1$$

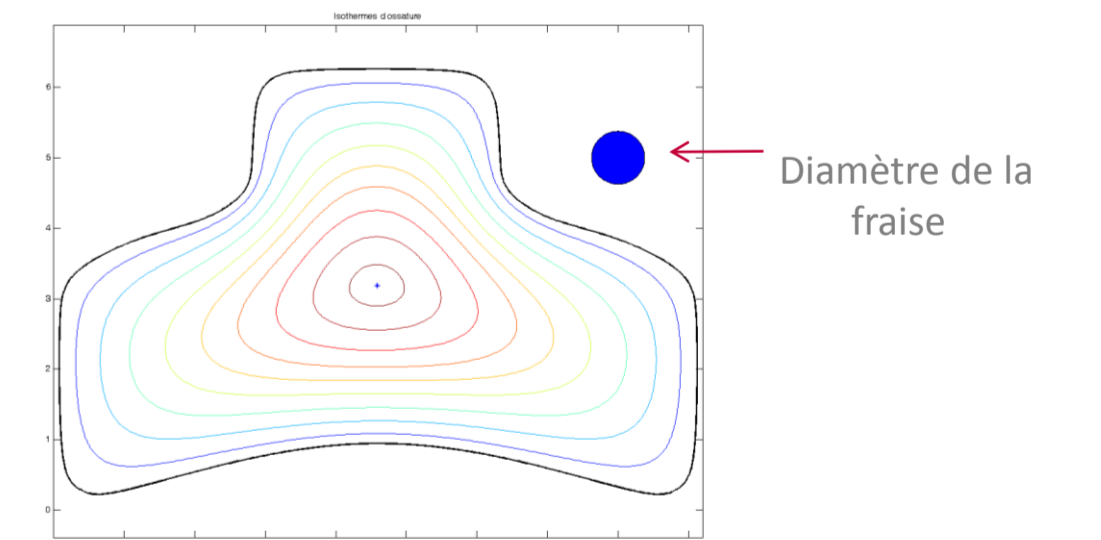
Calcul du champ de températures

Modélisation du phénomène dans ABAQUS et extraction du champ de températures

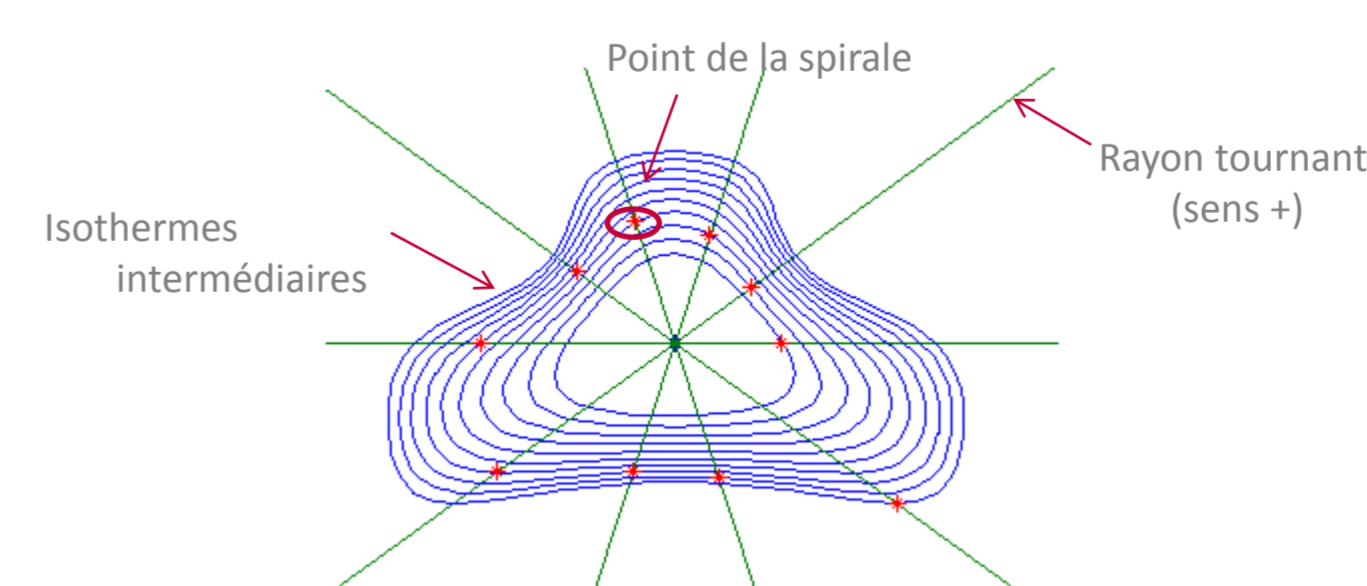


Recherche de l'ossature de la spirale

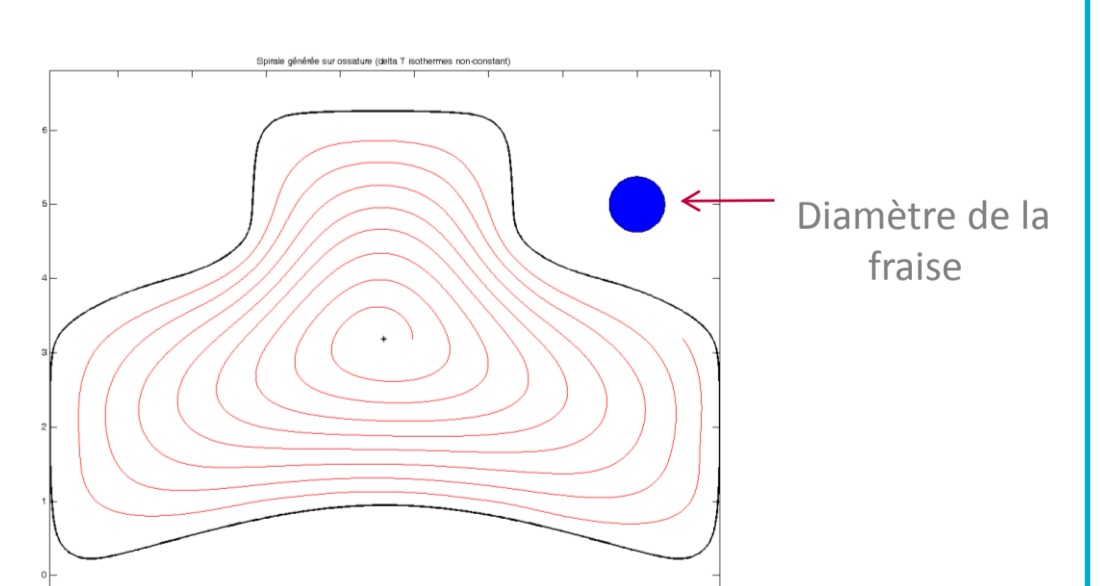
Recherche des isothermes se trouvant à une distance maximale du centre, pour vider complètement la poche



Construction de la spirale



Lissage de la spirale



Critiques - Perspectives

- La trajectoire générée est
- fluide
 - un peu plus longue mais plus rapide que les trajectoires classiques
- MAIS est
- inapplicable pour des poches non convexes
- Pour quel(s) type(s) de poche cette méthode est-elle exploitable?
 - Est-elle adaptable pour des poches plus complexes?
 - Quelle est, pour une poche donnée, la trajectoire la plus rapide?
=> Modélisation du temps d'usinage