



# Optimisation d'usinage de surfaces gauches par système multi-agent auto-organisateur

# Plan

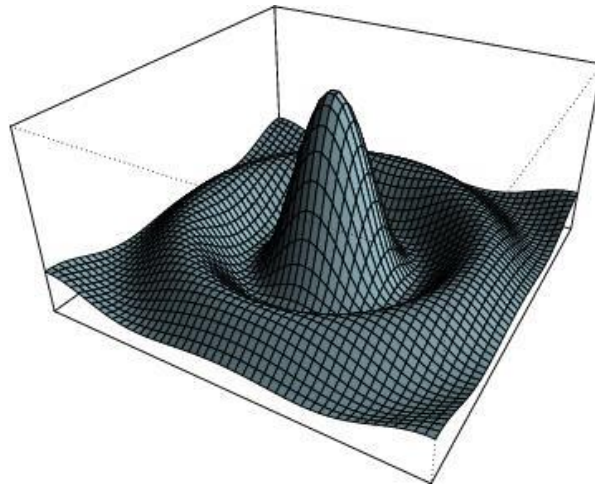
1. Contexte
2. Problématique et objectif
3. Système multi-agent adaptatif
4. Expérimentations et résultats
5. Conclusion et perspectives



# Contexte

# Surface gauche

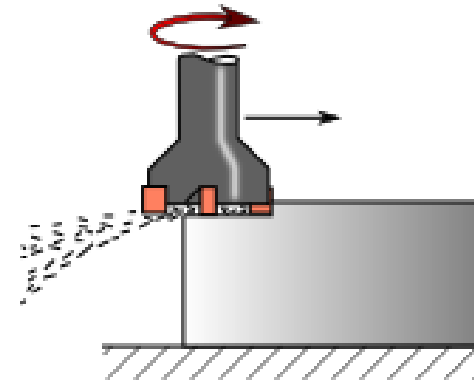
- Surface non-plane
- Surface dont tous les points ne sont pas sur le même plan



# Usinage de surface gauche

- Rotation de l'outil
- Déplacement de la pièce
- Fraisage

Procédé de réalisation d'une pièce par enlèvement de matière



# Outils utilisés



- Outil torique
- Efficace
- Mais nécessite un plan d'usinage adapté



# Rayon effectif de l'outil torique

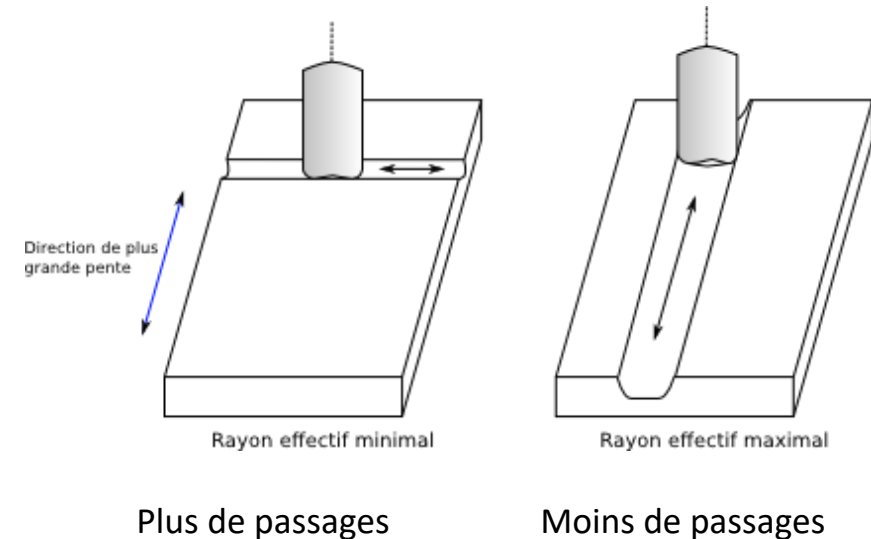
- Quantité de matière enlevée par l'outil
- Varie selon la direction d'usinage

$$R_{\text{effectif}}(S, \alpha, R, r) = \frac{(R - r) \cdot \cos(|S - \alpha|)^2}{\sin(S) \cdot (1 - \sin(|S - \alpha|)^2 \cdot \sin(S)^2)} + r$$

$R, r$  : Dimensions de l'outil

$S$  : Direction de plus grande pente

$\alpha$  : Direction d'usinage





# Problématique et objectif



# Problématique

- Usiner la pièce dans un temps minimal
  - Première idée : maximiser le rayon effectif -> Usiner chaque point dans la direction optimale
  - Mais changer de direction -> perte de temps

# Problématique

Minimiser le temps d'usinage

=

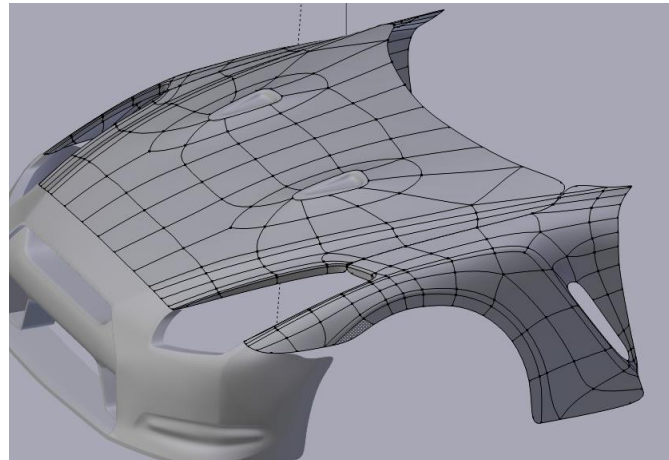
Maximiser le rayon effectif

ET

Minimiser le nombre de changements de direction

# Formalisation du problème

- Discrétisation du problème
  - Découpage de la surface en mailles (surface plane suffisamment petite)
  - Une maille -> Une direction optimale d'usinage



# Formalisation du problème

- Regroupement de mailles
  - Regrouper les mailles ayant une direction optimale similaire pour minimiser le nombre de changements de direction
- **Zone**
  - Regroupement de mailles qui seront usinées dans une direction donnée
- Solution = découpage en zone

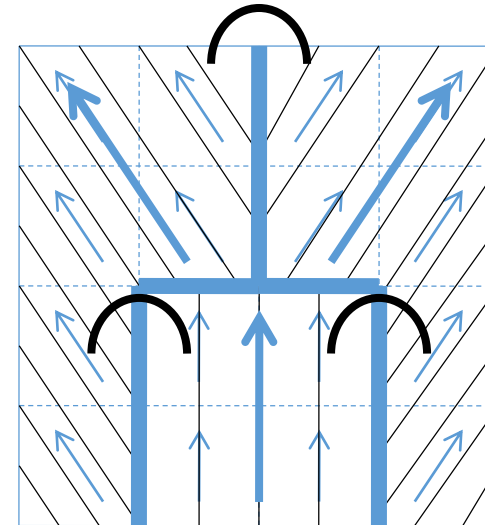
# Formalisation du problème

- Évaluation de la solution
  - Mesure du temps d'usinage
    - Nécessite une simulation très précise
  - Mesure de la longueur de chemin de l'outil
    - Evaluation cohérente

# Formalisation du problème

- Longueur de chemin d'usinage
  1. Simplexe pour calcul de la direction optimale d'une zone
  2. Simulation de l'usinage par tracé de la trajectoire de l'outil pour chaque zone
  3. Somme des longueurs obtenues
  4. Ajout du coût associé aux changements de direction

$(|zones| \cdot K)$



$$g(zones) = \sum_{z \in zones} zonePathLength(z) + |zones| \cdot K$$

Fonction pertinente mais coûteuse

# Démarche de l'Institut Clément Ader

- Optimisation combinatoire
- Fonction de coût à minimiser : longueur du chemin de l'outil selon le découpage en zones

$$\arg \min_{zones} g(zones) = \sum_{z \in zones} zonePathLength(z) + |zones| \cdot K$$

- Méthodes d'optimisation combinatoire
  - GRASP [Feo, 1989], Recherche Tabu [Glover, 1986], Clark & Wright [Clarke, 1964], ...
- Evaluation de la fonction de coût à chaque itération
- Efficacité réduite lors du passage à l'échelle

# Objectif du projet

- Étudier apport de l'approche AMAS pour résoudre ce problème
- Abstraction de la fonction de coût



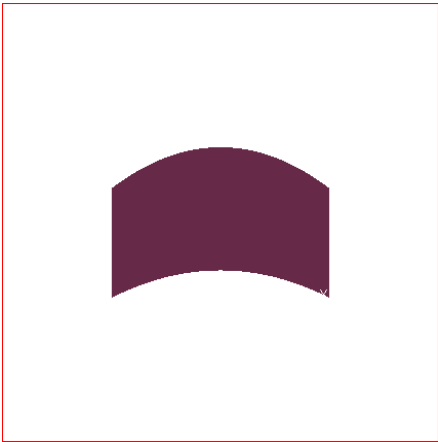
# Approche AMAS

- Optimisation par système multi-agent adaptatif
- Toute fonction globale peut être obtenue par des comportements locaux coopératifs

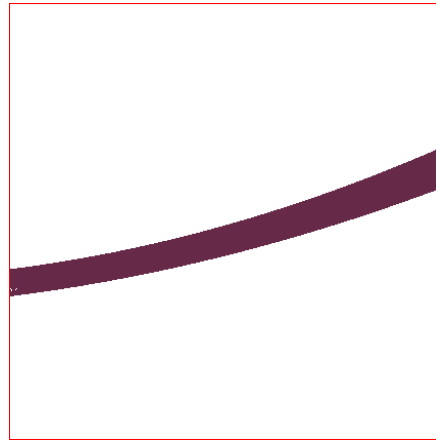


# Systeme multi-agent adaptatif

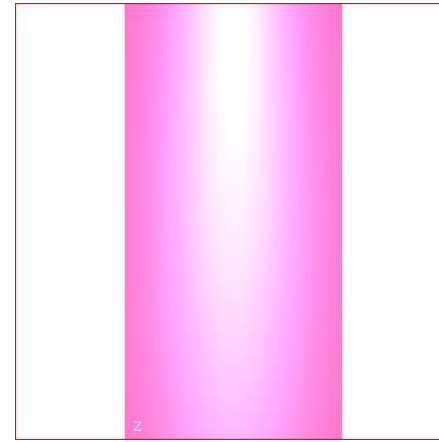
# Surface d'une tuile



Vue en XZ

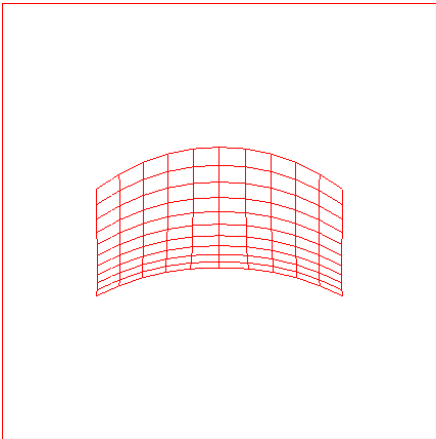


Vue en YZ

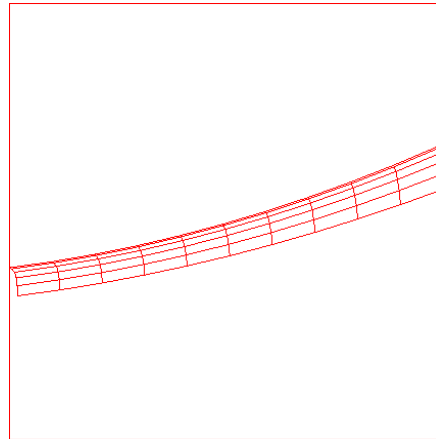


Vue en XY

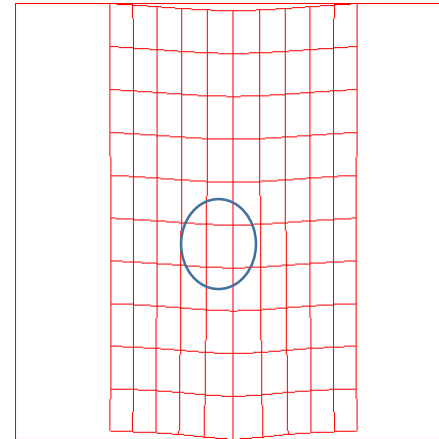
# Maillage de la surface d'une tuile



Vue en XZ



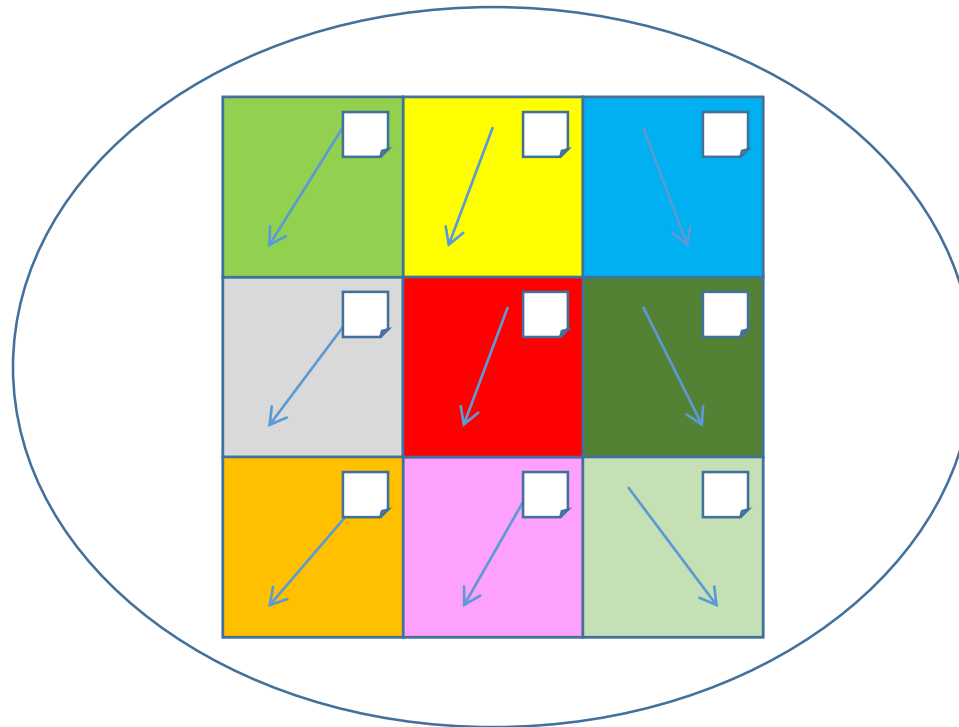
Vue en YZ



Vue en XY

# Agent maille

Situation



# Comportement coopératif

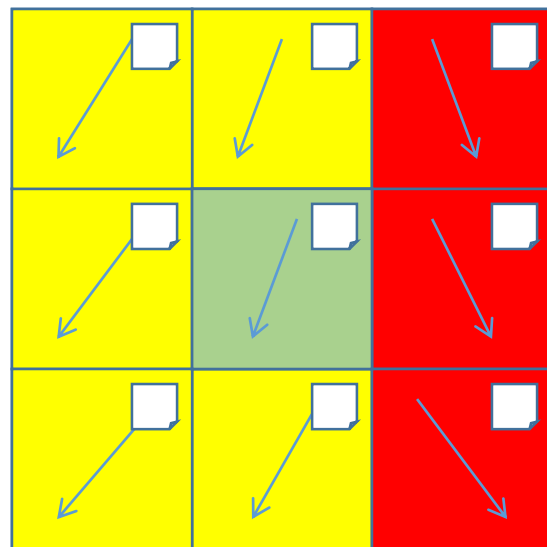
- 2 buts locaux contradictoires
- 2 critères corrélés à la fonction globale sans la connaître
  - Un critère sur la taille des zones
  - Un critère sur la plus grande différence de directions optimales des mailles d'une zone

# Satisfaction d'un agent

- Chaque situation -> Une valeur d'insatisfaction par critère
- Insatisfaction d'une situation = Maximum des deux insatisfactions
  - Avec coefficients de pondération  $\alpha$  et  $\beta$  dépendants de la machine

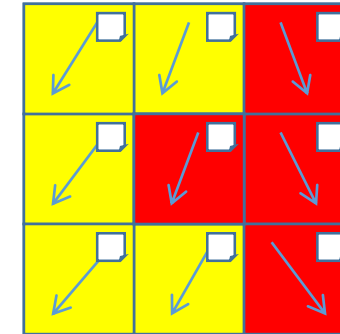
$$insatisfaction(situation) = \max(\alpha \cdot insatisfaction1(situation), \beta \cdot insatisfaction2(situation))$$

insatisfaction 2 < insatisfaction 1 < insatisfaction actuelle



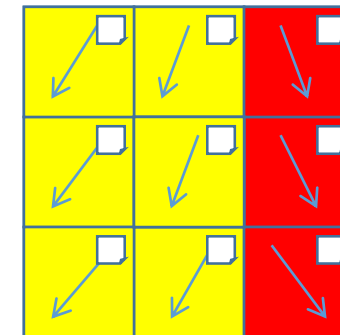
Situation actuelle

Attachement à droite



Calcul insatisfaction 1

Attachement à gauche



Calcul insatisfaction 2

Attachement en haut

Attachement en bas

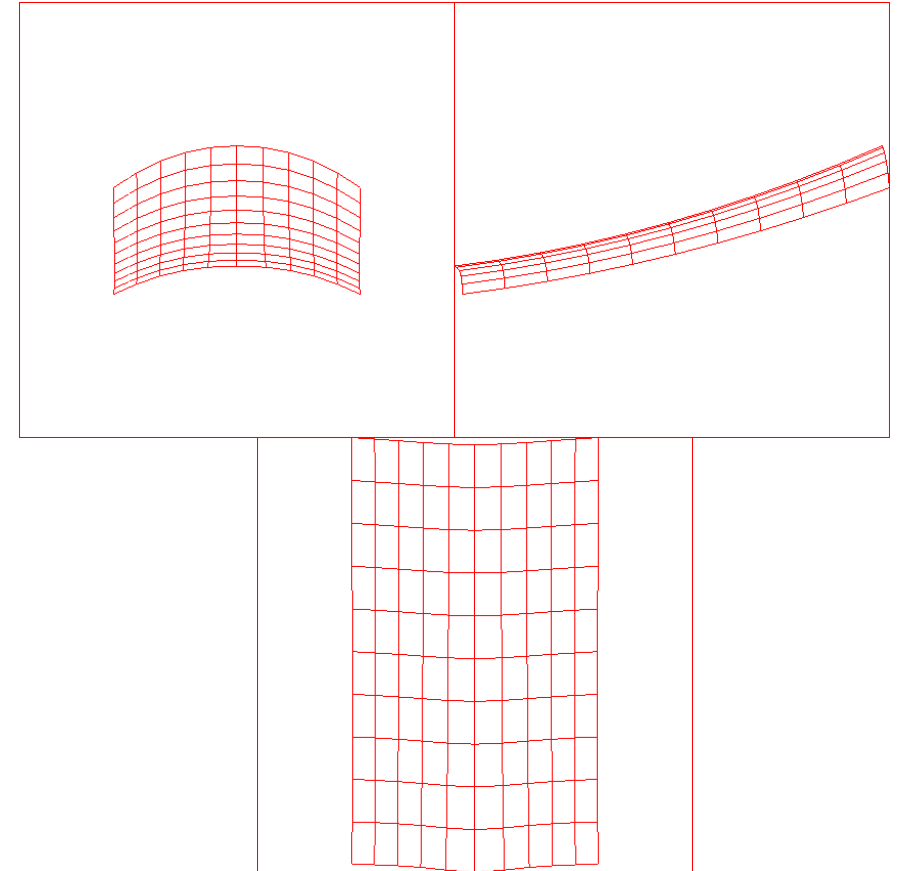


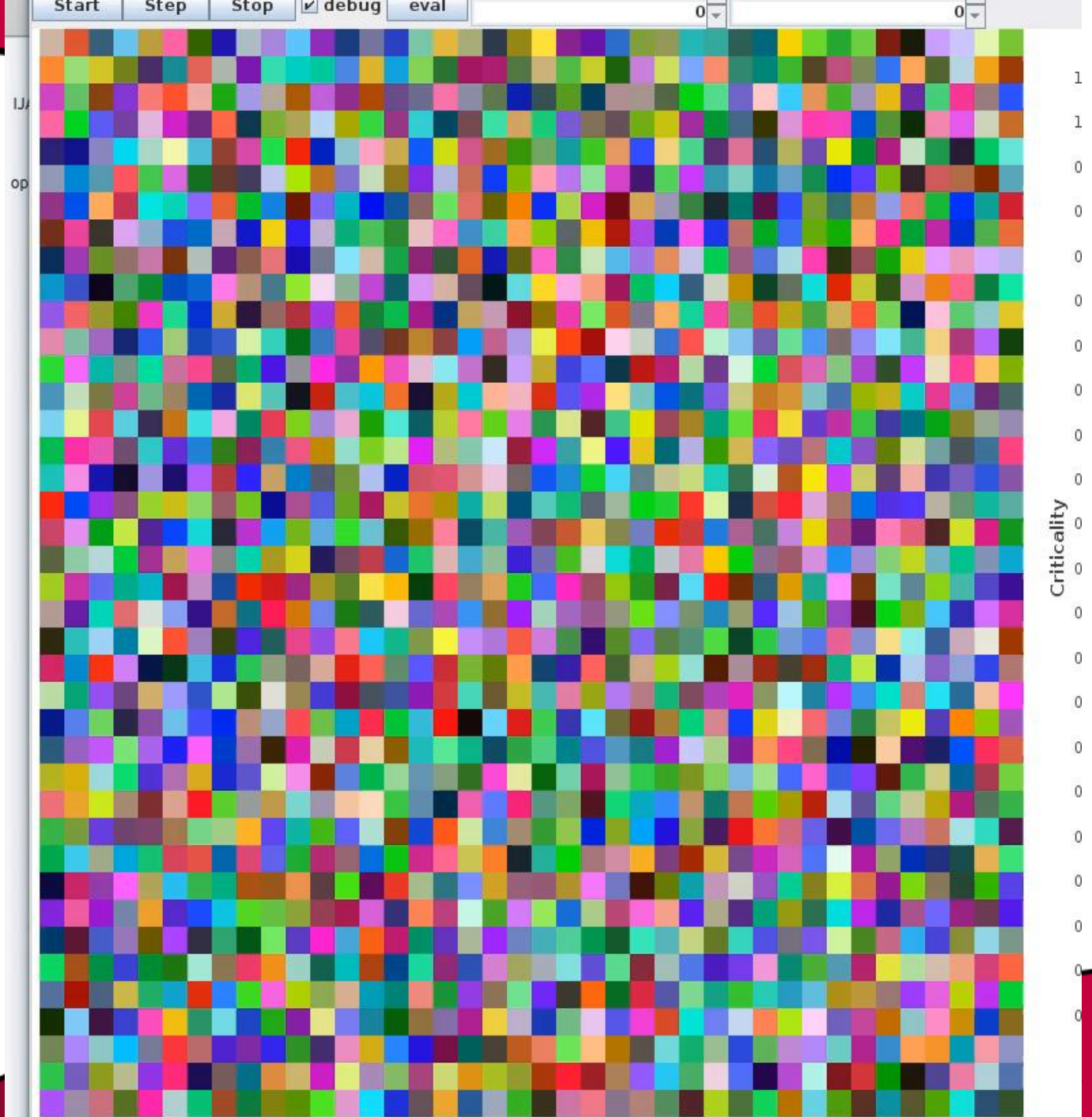
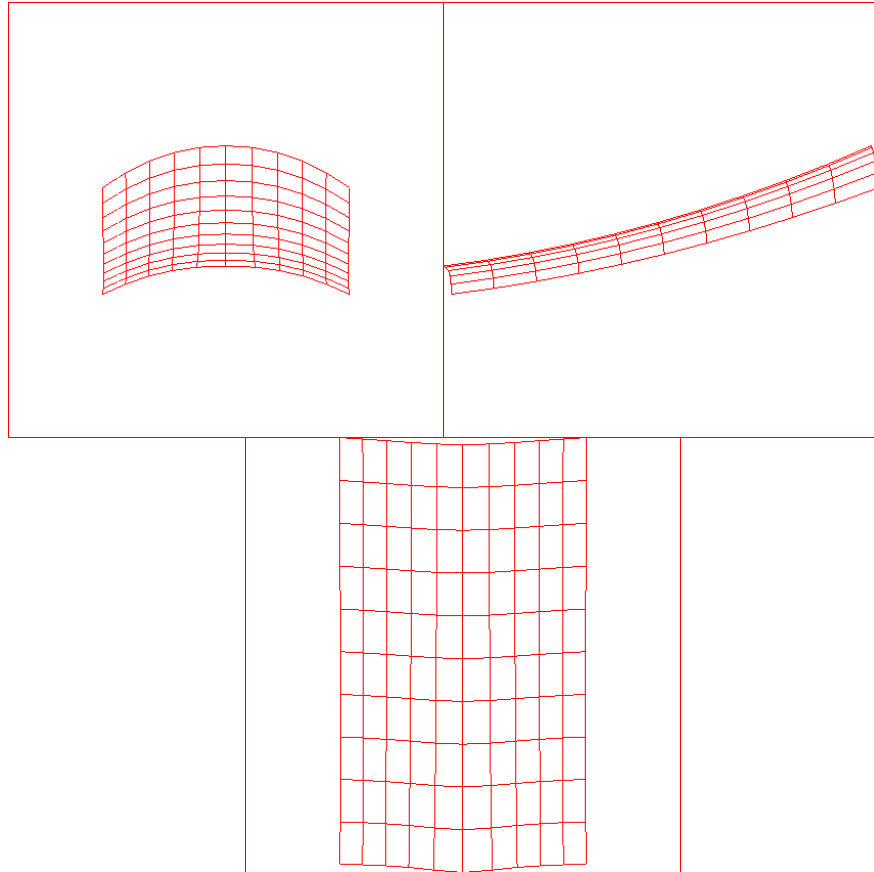
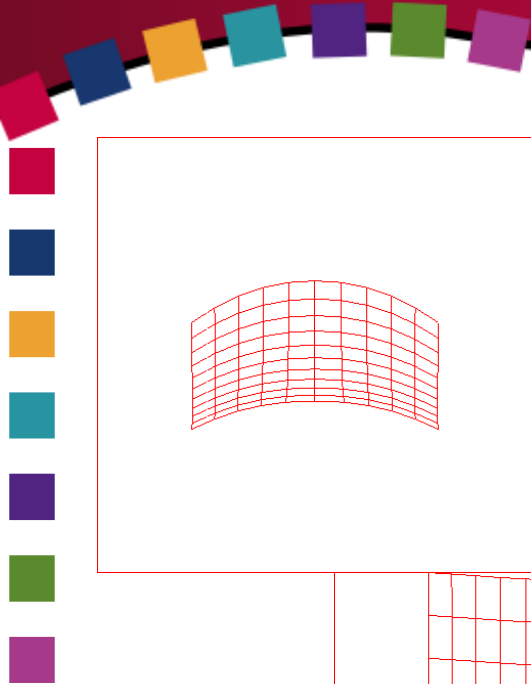


# Expérimentations et résultats

# Vérification de la convergence

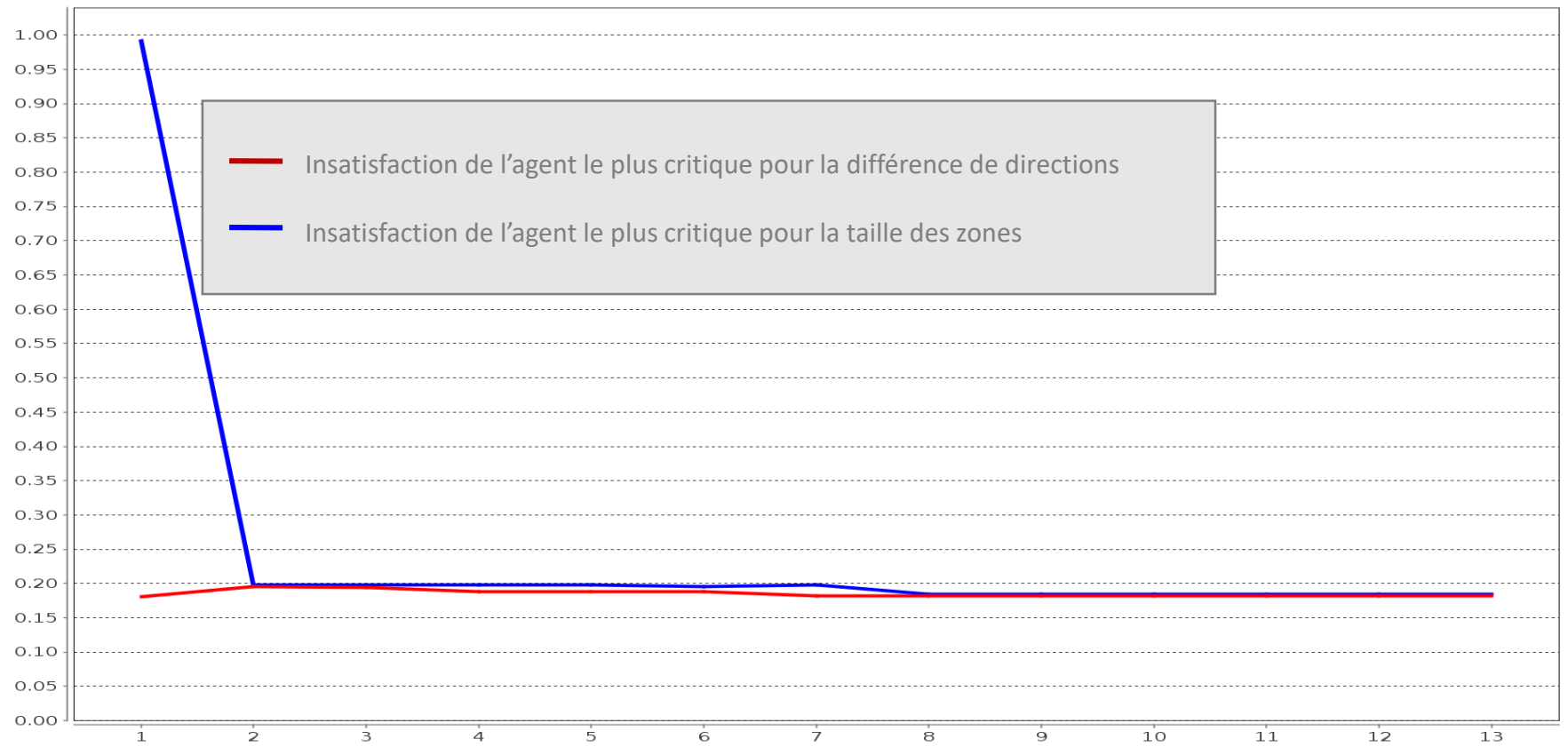
- Vidéo de démonstration
- Surface à usiner : la tuile
- Maillage : 40x40





# Satisfaction des critères

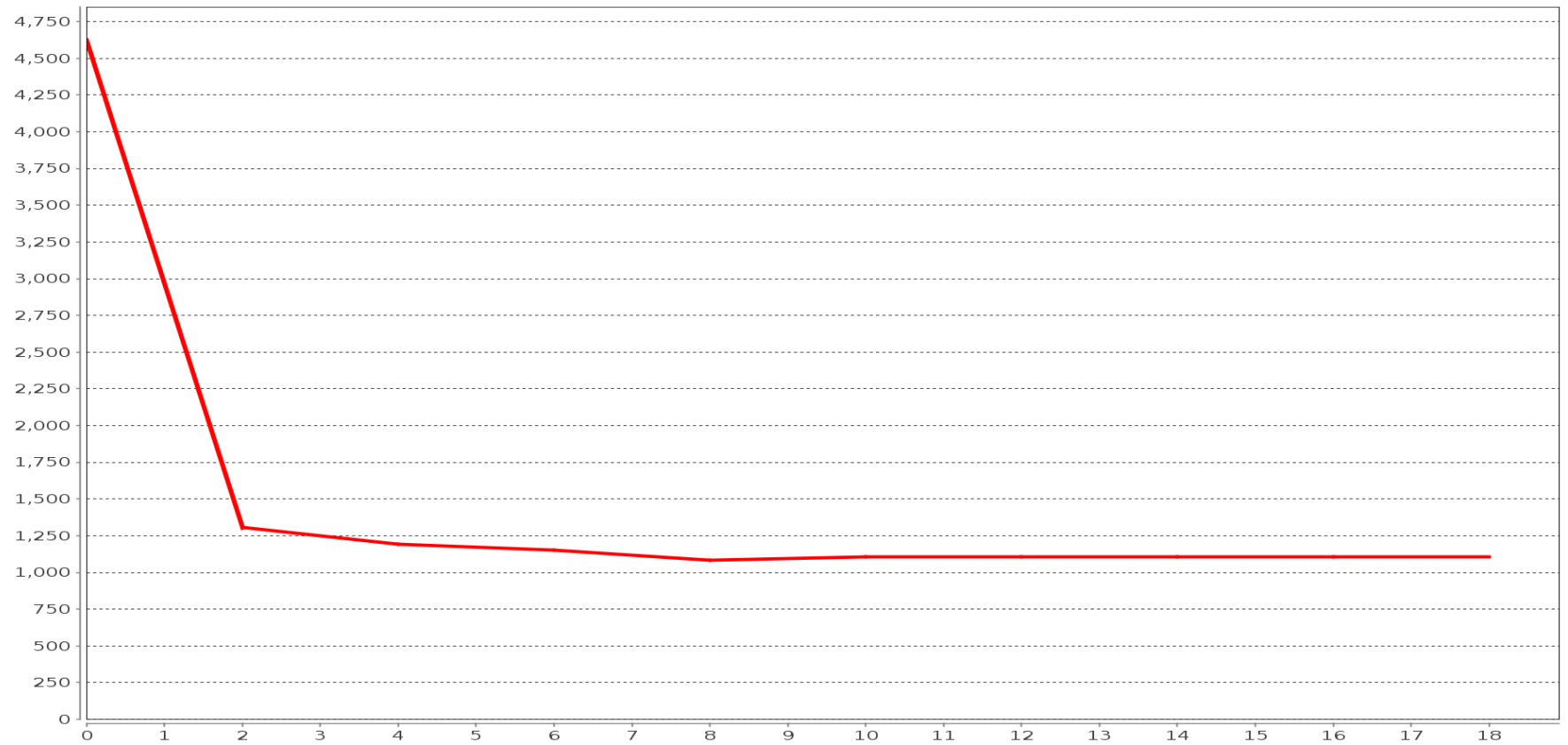
Taux d'insatisfaction



Cycle

# Évolution de la fonction de coût

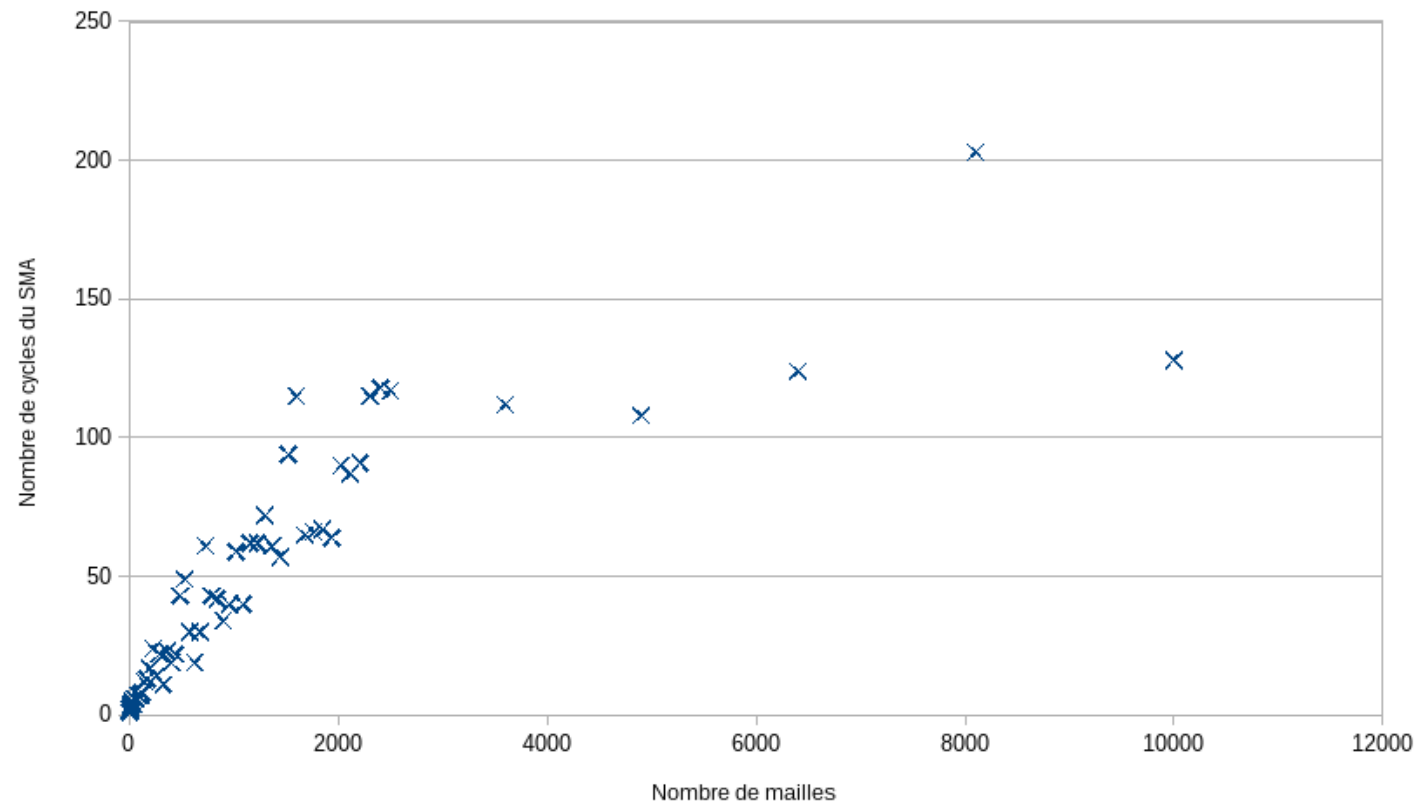
Longueur de chemin : g(zones)



Cycle

# Estimation du temps de calcul

Nombre de cycles du SMA



Nombre de mailles



# Conclusion et perspectives

# Conclusion

- Obtention d'une solution en apparence correcte
- Pas de calcul de la fonction globale
- Allure logarithmique de la complexité en cycles



# Perspectives

- Amélioration du SMA
  - Performance du calcul des zones
  - Ajout d'une mémoire pour une convergence plus efficace
  - Détermination automatique de  $\alpha$  et  $\beta$