

# Méthode de synthèse de formes appliquée à la conception d'antennes planaires

Développement d'une méthode des moments multistuctures

Délia Arnaud-Cormos, Renaud Loison et Raphaël Gillard

IETR, 20 av. des buttes de Coësmes, CS14315, 35043 Rennes Cedex

CANUM - 30 Mai 2006

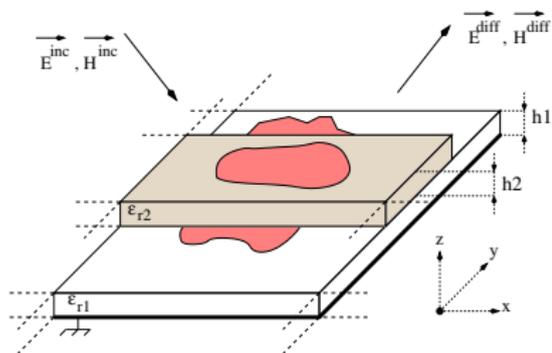
# Plan de la présentation

- 1 Contexte et motivations
- 2 MoM multistuctures (MSMoM)
- 3 Couplage MSMoM - GA
- 4 Conclusion et perspectives

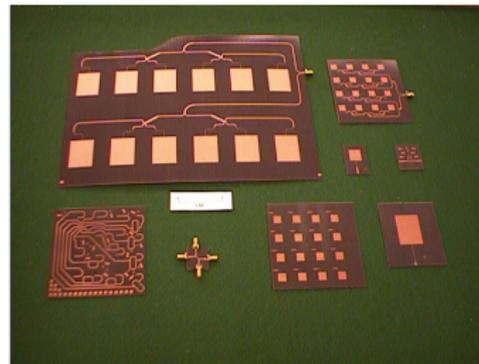
# Plan

- 1 Contexte et motivations
  - Antennes imprimée
  - CAO des antennes imprimées
  - Optimisation EM

# Description



Configuration générale



Exemples de réalisations

# Applications

## Télécommunications

Mobile (GSM, DCS, UMTS, DECT)

Spatiales (TV, Téléphonie)

Multimédia (WiFi, Bluetooth)

...

## Radar, Imagerie, Télédétection

Radar automobile

Observation terrestre

...

# Applications

## Télécommunications

Mobile (GSM, DCS, UMTS, DECT)

Spatiales (TV, Téléphonie)

Multimédia (WiFi, Bluetooth)

...

## Radar, Imagerie, Télédétection

Radar automobile

Observation terrestre

...

# Plan

- 1 Contexte et motivations
  - Antennes imprimée
  - CAO des antennes imprimées
  - Optimisation EM

# Méthodes numériques d'analyse EM

## Méthodes temporelles

Finite Difference Time Domain Technique (FDTD)

Finite Element Time Domain (FETD)

Transmission Line Method (TLM)

...

## Méthodes fréquentielles

Finite Element (FE)

Method of Moment (MoM)

...

# Méthodes numériques d'analyse EM

## Méthodes temporelles

Finite Difference Time Domain Technique (FDTD)

Finite Element Time Domain (FETD)

Transmission Line Method (TLM)

...

## Méthodes fréquentielles

Finite Element (FE)

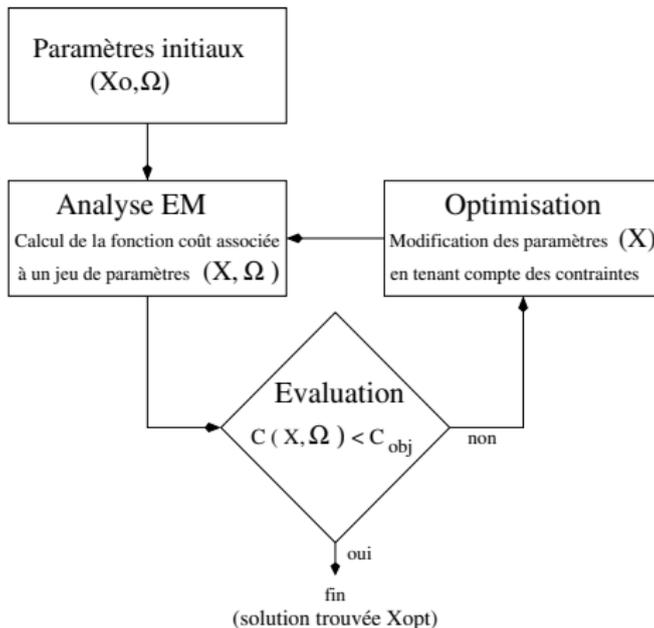
Method of Moment (MoM)

...

# Plan

- 1 Contexte et motivations
  - Antennes imprimée
  - CAO des antennes imprimées
  - Optimisation EM

# Schéma général d'une optimisation EM



# Problématique

La boucle d'optimisation comprend une analyse électromagnétique de la ou des structures à évaluer

## Difficulté

Quand une optimisation nécessite de nombreuses itérations, le temps de calcul devient prohibitif

## Besoin

Il est nécessaire d'accélérer la phase d'analyse EM contenue dans la boucle d'optimisation

# Problématique

La boucle d'optimisation comprend une analyse électromagnétique de la ou des structures à évaluer

## Difficulté

Quand une optimisation nécessite de nombreuses itérations, le temps de calcul devient prohibitif

## Besoin

Il est nécessaire d'accélérer la phase d'analyse EM contenue dans la boucle d'optimisation

# Problématique

La boucle d'optimisation comprend une analyse électromagnétique de la ou des structures à évaluer

## Difficulté

Quand une optimisation nécessite de nombreuses itérations, le temps de calcul devient prohibitif

## Besoin

Il est nécessaire d'accélérer la phase d'analyse EM contenue dans la boucle d'optimisation

# Dans la littérature

Solutions pour réduire le temps d'évaluation EM à l'intérieur de la boucle d'optimisation

## Utilisation d'un modèle EM approché

Modèle comportemental, analyse électromagnétique  
"grossière", méthode "rapide", ...

## Inconvénient

Nécessité de corriger régulièrement les solutions évaluées

Méthode EM rigoureuse utilisant les invariances du problème

Ré-utilisation de l'information liée aux zones non optimisées

# Dans la littérature

Solutions pour réduire le temps d'évaluation EM à l'intérieur de la boucle d'optimisation

## Utilisation d'un modèle EM approché

Modèle comportemental, analyse électromagnétique  
"grossière", méthode "rapide", ...

## Inconvénient

Nécessité de corriger régulièrement les solutions évaluées

Méthode EM rigoureuse utilisant les invariances du problème

Ré-utilisation de l'information liée aux zones non optimisées

# Dans la littérature

Solutions pour réduire le temps d'évaluation EM à l'intérieur de la boucle d'optimisation

## Utilisation d'un modèle EM approché

Modèle comportemental, analyse électromagnétique  
"grossière", méthode "rapide", ...

## Inconvénient

Nécessité de corriger régulièrement les solutions évaluées

## Méthode EM rigoureuse utilisant les invariances du problème

Ré-utilisation de l'information liée aux zones non optimisées

# Plan

- 2 MoM multistuctures (MSMoM)
  - Approche multistucture ?
  - Method of Moments (MoM)
  - MSMoM
  - Complexité

Approche multistucture ?

# Philosophie de l'approche



Structure Mère (SM)

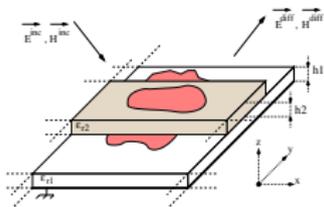


Structure Filles (SF)

# Plan

- 2 MoM multistuctures (MSMoM)
  - Approche multistucture ?
  - Method of Moments (MoM)
  - MSMoM
  - Complexité

# Equation intégrale

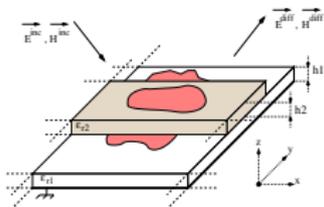


- $\vec{e}_n(\vec{r}_{obs}) \times [\vec{E}^{inc}(\vec{r}_{obs}) + \vec{E}^{diff}(\vec{r}_{obs})] = \vec{0}$
- $\vec{E}^{diff}(\vec{r}_{obs}) = -j\omega\vec{A}(\vec{r}_{obs}) - \vec{\nabla}_{obs}V(\vec{r}_{obs})$

- Equation intégrale :

$$\vec{e}_n \times \left\{ \iint_{S_{sou}} [j\omega\vec{G}_A \cdot \vec{J}_s + \vec{\nabla}_{obs}G_V\rho_s] dS_{sou} \right\} = \vec{e}_n \times \vec{E}^{inc}$$

# Equation intégrale

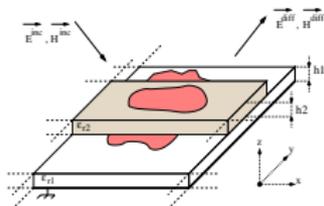


- $\vec{e}_n(\vec{r}_{obs}) \times [\vec{E}^{inc}(\vec{r}_{obs}) + \vec{E}^{diff}(\vec{r}_{obs})] = \vec{0}$
- $\vec{E}^{diff}(\vec{r}_{obs}) = -j\omega\vec{A}(\vec{r}_{obs}) - \vec{\nabla}_{obs}V(\vec{r}_{obs})$

- Equation intégrale :

$$\vec{e}_n \times \left\{ \iint_{S_{sou}} [j\omega\vec{G}_A \cdot \vec{J}_s + \vec{\nabla}_{obs}G_V\rho_s] dS_{sou} \right\} = \vec{e}_n \times \vec{E}^{inc}$$

# Equation intégrale



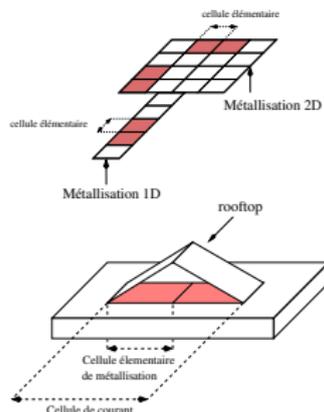
- $\vec{e}_n(\vec{r}_{obs}) \times [\vec{E}^{inc}(\vec{r}_{obs}) + \vec{E}^{diff}(\vec{r}_{obs})] = \vec{0}$
- $\vec{E}^{diff}(\vec{r}_{obs}) = -j\omega\vec{A}(\vec{r}_{obs}) - \vec{\nabla}_{obs}V(\vec{r}_{obs})$

- Equation intégrale :

$$\vec{e}_n \times \left\{ \int \int_{S_{sou}} [j\omega\vec{G}_A \cdot \vec{J}_s + \vec{\nabla}_{obs}G_V\rho_s] dS_{sou} \right\} = \vec{e}_n \times \vec{E}^{inc}$$

# Résolution de l'équation intégrale à l'aide de la MoM

## Méthode type Galerkin

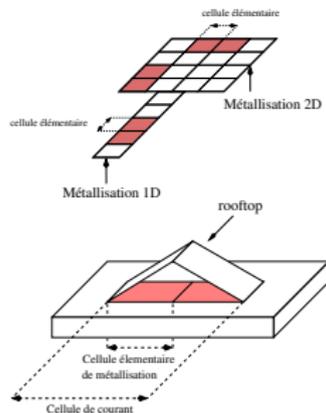


- Discrétisation rectangulaire (dans notre cas) des métallisations
- Projection de la densité de courant (inconnue) sur  $N$  fonctions de base (1 courant est défini sur chaque arête)
- Projection de l'équation sur  $N$  fonctions de test

- Obtention et résolution d'un système linéaire de dimension  $N \times N$

# Résolution de l'équation intégrale à l'aide de la MoM

## Méthode type Galerkin

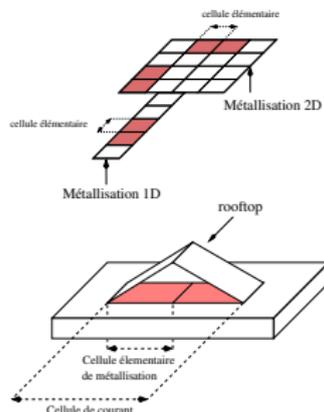


- Discrétisation rectangulaire (dans notre cas) des métallisations
- Projection de la densité de courant (inconnue) sur  $N$  fonctions de base (1 courant est défini sur chaque arête)
- Projection de l'équation sur  $N$  fonctions de test

- Obtention et résolution d'un système linéaire de dimension  $N \times N$

# Résolution de l'équation intégrale à l'aide de la MoM

## Méthode type Galerkin



- Discrétisation rectangulaire (dans notre cas) des métallisations
- Projection de la densité de courant (inconnue) sur  $N$  fonctions de base (1 courant est défini sur chaque arête)
- Projection de l'équation sur  $N$  fonctions de test

- Obtention et résolution d'un système linéaire de dimension  $N \times N$

# Système linéaire

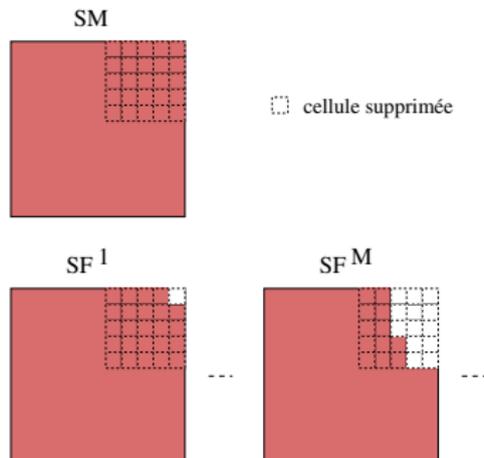
$$\begin{bmatrix} Z_{11} & Z_{12} & \cdots & Z_{1N} \\ Z_{21} & Z_{22} & \cdots & Z_{2N} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ Z_{N1} & Z_{N2} & \cdots & Z_{NN} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ \vdots \\ I_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ \vdots \\ V_N \end{bmatrix}$$

- $Z$  : matrice impédance généralisée
- $I$  : vecteur courant (inconnues du problème)
- $V$  : vecteur excitation

# Plan

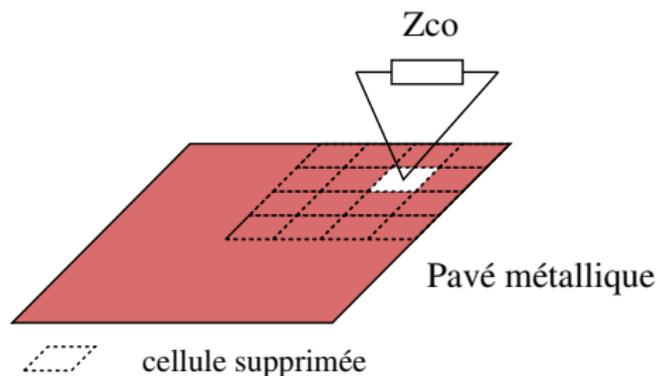
- 2 MoM multistuctures (MSMoM)
  - Approche multistucture ?
  - Method of Moments (MoM)
  - **MSMoM**
  - Complexité

# Structures mère et filles



Les structures filles correspondent à la structure mère à laquelle une ou des cellules sont enlevées

# Obtention d'une structure fille



Pour enlever une cellule (ou plutôt un courant), on la “charge” par un circuit ouvert

# Chargement de l'accès $j$ par une impédance $Z_L$

Nouveau système linéaire :

$$(Z + Z_L)I^{\text{Fille}} = v$$

avec :

$$Z_L = \begin{bmatrix} 0 & \dots & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & \ddots & & & \vdots \\ 0 & & Z_j & & 0 \\ \vdots & & & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & 0 & \dots & 0 \end{bmatrix}$$



# Au final

Lorsque  $Z_j \rightarrow \infty$  (circuit ouvert), on obtient :

$$I_j^{\text{Fille}} = 0$$

$$\forall k, k \neq j, I_k^{\text{Fille}} = I_k^{\text{Mère}} - \frac{Y_{kj}}{Y_{jj}} I_j^{\text{Mère}}$$

## Contrainte

Il faut connaître la  $j^{\text{ème}}$  colonne de la matrice  $Y$ .

# Calcul préliminaire nécessaire

En résolvant le système :

$$Z I^{\text{Tmp}} = V^1$$

où le vecteur  $V^1$  est nul sauf la  $j^{\text{ème}}$  composante.

On accède aux composantes souhaitées de la matrice  $Y$  :

$$Y_{ij} = \frac{I_i^{\text{Tmp}}}{V_j^1}$$

Système réellement résolu pour la SM

$$Z \cdot [I^{\text{Mère}}, I^{\text{Tmp}}] = [V, V^1]$$

# Généralisation et bilan

- L'annulation de plusieurs courants se fait de manière itérative
- Pour pouvoir annuler  $M$  courants, il faut résoudre au préalable :

$$Z. [I^{\text{Mère}}, I^1, \dots, I^M] = [V, V^1, \dots, V^M]$$

- Les solutions des structures filles s'obtiennent par simple manipulation des courants calculés au préalable
- En anticipant l'annulation de  $M$  courants, on a accès aux solutions de  $2^N$  structures filles

# Généralisation et bilan

- L'annulation de plusieurs courants se fait de manière itérative
- Pour pouvoir annuler  $M$  courants, il faut résoudre au préalable :

$$Z. \left[ I^{\text{Mère}}, I^1, \dots, I^M \right] = \left[ V, V^1, \dots, V^M \right]$$

- Les solutions des structures filles s'obtiennent par simple manipulation des courants calculés au préalable
- En anticipant l'annulation de  $M$  courants, on a accès aux solutions de  $2^N$  structures filles

# Généralisation et bilan

- L'annulation de plusieurs courants se fait de manière itérative
- Pour pouvoir annuler  $M$  courants, il faut résoudre au préalable :

$$Z. \left[ I^{\text{Mère}}, I^1, \dots, I^M \right] = \left[ V, V^1, \dots, V^M \right]$$

- Les solutions des structures filles s'obtiennent par simple manipulation des courants calculés au préalable
- En anticipant l'annulation de  $M$  courants, on a accès aux solutions de  $2^N$  structures filles

# Généralisation et bilan

- L'annulation de plusieurs courants se fait de manière itérative
- Pour pouvoir annuler  $M$  courants, il faut résoudre au préalable :

$$Z. [I^{\text{Mère}}, I^1, \dots, I^M] = [V, V^1, \dots, V^M]$$

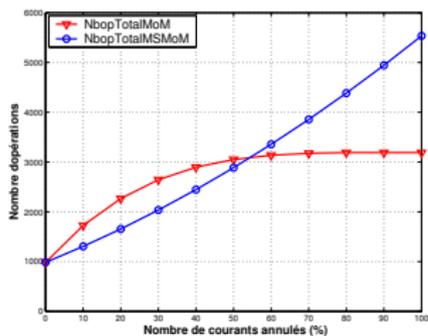
- Les solutions des structures filles s'obtiennent par simple manipulation des courants calculés au préalable
- En anticipant l'annulation de  $M$  courants, on a accès aux solutions de  $2^N$  structures filles

# Plan

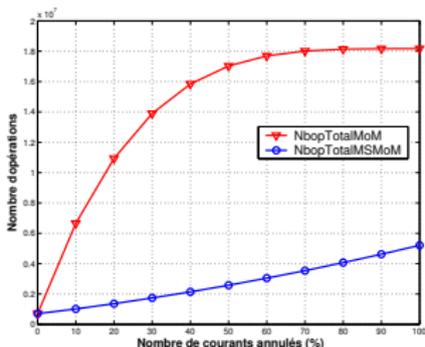
- 2 MoM multistuctures (MSMoM)
  - Approche multistucture ?
  - Method of Moments (MoM)
  - MSMoM
  - Complexité

# Nombre d'opérations

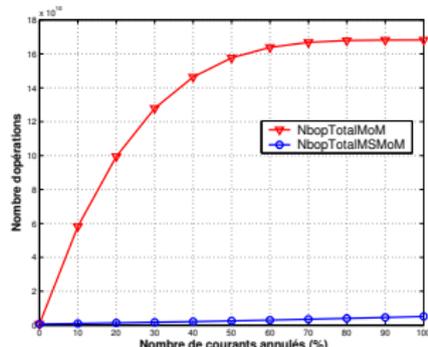
## Comparaison MoM - MSMoM pour 3 valeurs de $N$



$N = 10$



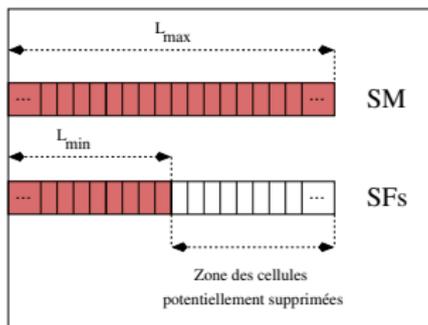
$N = 100$



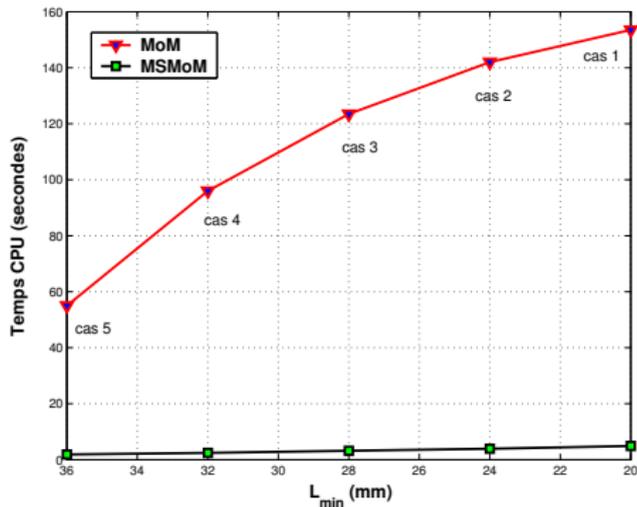
$N = 1000$

Complexité

# Temps de calcul



Structures analysées



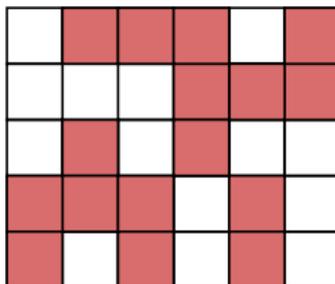
Temps de calcul

# Plan

- 3 Couplage MSMoM - GA
  - Généralités
  - Exemple d'application

# Codage des structures

SF



Chromosome GA

011101

000111

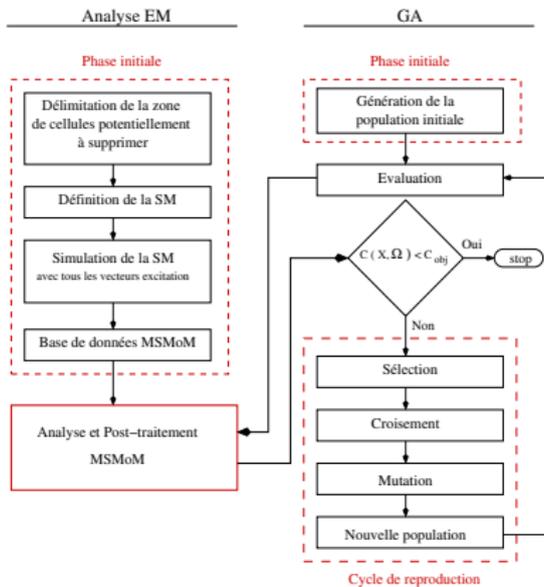
010100

111010

101010

Représentation binaire découlant naturellement de l'approche  
MSMoM

# Organigramme

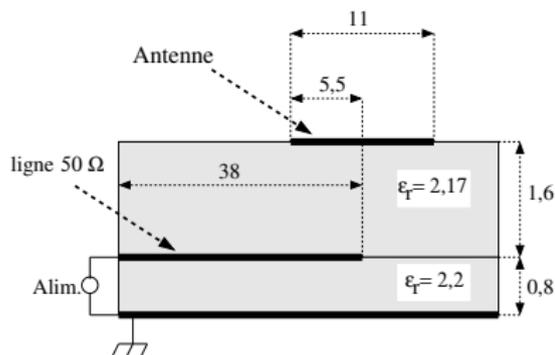


# Plan

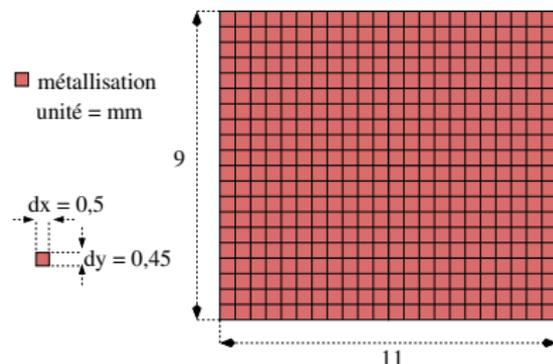
- 3 Couplage MSMoM - GA
  - Généralités
  - Exemple d'application

Exemple d'application

# Structure conventionnelle



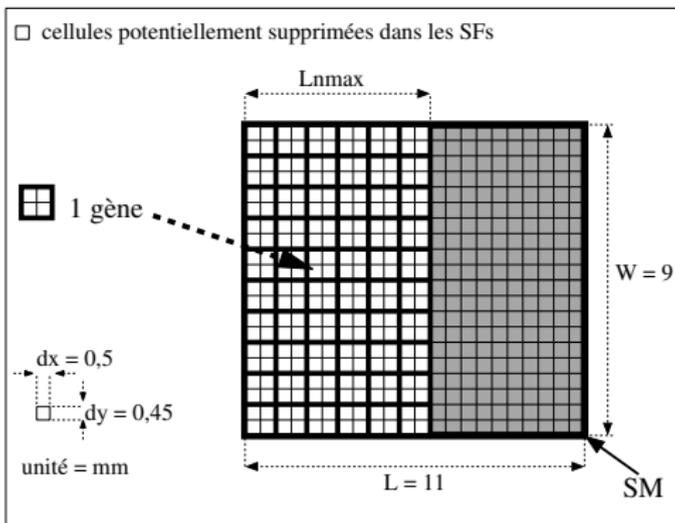
Vue de coté



Vue de dessus

Exemple d'application

# Stratégie d'optimisation



# Caractéristiques du problème d'optimisation

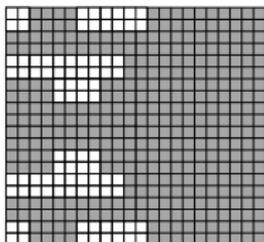
- Longueur du chromosome GA : 30
- Nombre de structures possibles :  $2^{30}$
- Nombre de structures évaluées par le GA : 2878
- Objectif : minimisation du coefficient de réflexion sur une large bande de fréquence

Exemple d'application

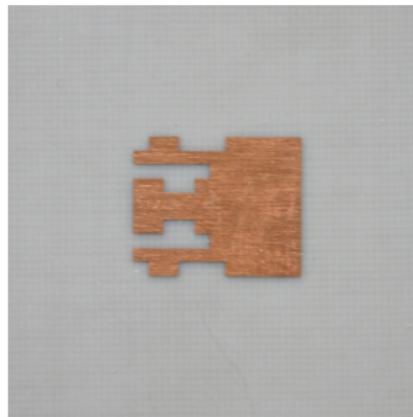
# Structure optimisée

□ cellules supprimées

$dx = 0,5$   
 $dy = 0,45$   
unité = mm



Layout de la structure optimisée

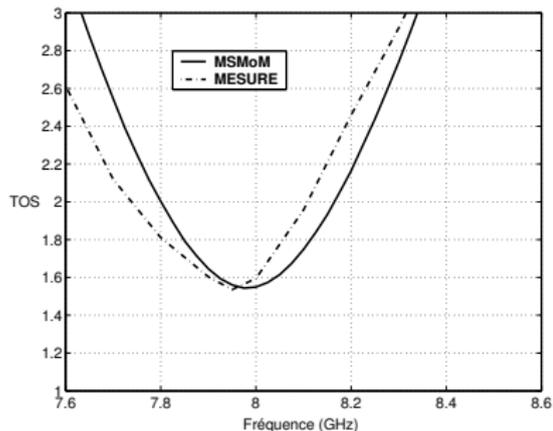


Photographie

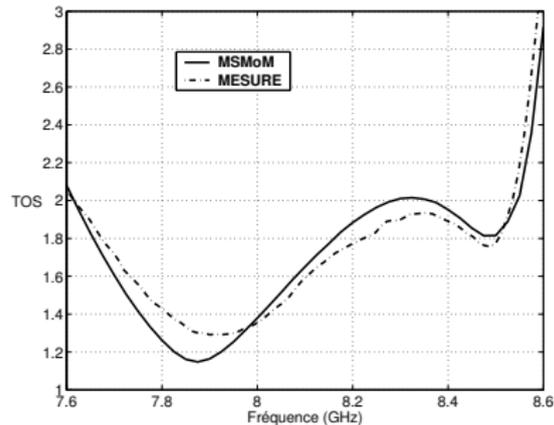
Exemple d'application

# Performances pratiques

Coefficient de réflexion



Structure conventionnelle



Structure optimisée

# Conclusion

- Développement d'une méthode multistuctures :
  - "Rigoureuse"
  - Très rapide pour analyser des structures variant peu
  - Bien adaptée aux problèmes d'optimisation
- Couplage de la MSMoM avec un GA
  - Optimisation de structures "discrètes"
  - Amélioration des performances pratiques par rapport aux structures conventionnelles
- Soutenance de Thèse de Délia Arnaud-Cormos : 5 juillet à l'INSA de Rennes

# Conclusion

- Développement d'une méthode multistuctures :
  - "Rigoureuse"
  - Très rapide pour analyser des structures variant peu
  - Bien adaptée aux problèmes d'optimisation
- Couplage de la MSMoM avec un GA
  - Optimisation de structures "discrètes"
  - Amélioration des performances pratiques par rapport aux structures conventionnelles
- Soutenance de Thèse de Délia Arnaud-Cormos : 5 juillet à l'INSA de Rennes

# Conclusion

- Développement d'une méthode multistuctures :
  - "Rigoureuse"
  - Très rapide pour analyser des structures variant peu
  - Bien adaptée aux problèmes d'optimisation
- Couplage de la MSMoM avec un GA
  - Optimisation de structures "discrètes"
  - Amélioration des performances pratiques par rapport aux structures conventionnelles
- Soutenance de Thèse de Délia Arnaud-Cormos : 5 juillet à l'INSA de Rennes

# Perspectives

- Améliorer la technique en permettant la suppression de plusieurs cellules en une seule itération
- Développement d'une MSMoM 3D
- Application du principe à d'autres méthodes numériques (FEM par exemple)

# Perspectives

- Améliorer la technique en permettant la suppression de plusieurs cellules en une seule itération
- Développement d'une MSMoM 3D
- Application du principe à d'autres méthodes numériques (FEM par exemple)

# Perspectives

- Améliorer la technique en permettant la suppression de plusieurs cellules en une seule itération
- Développement d'une MSMoM 3D
- Application du principe à d'autres méthodes numériques (FEM par exemple)