

# Master M2E2, Micro-systèmes Multiphysiques

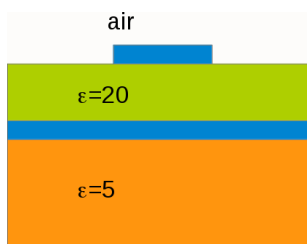
## TD/TP #2 : électrostatique

Vincent Laude

14 octobre 2015

### 1 Capacité verticale 2D

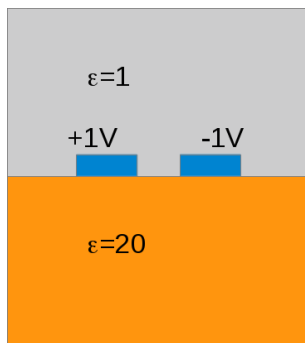
On veut modéliser une capacité verticale formée par empilement de couches minces sur un substrat. La piste électrique supérieure fait  $1.5 \mu\text{m}$  de large et est portée au potentiel de  $1 \text{ V}$  ; la piste inférieure est plus large et mise à la masse. La couche diélectrique a une épaisseur de  $1 \mu\text{m}$ . Le substrat est beaucoup plus épais. On ne prend pas en compte l'épaisseur des pistes métalliques. On suppose que la structure est très longue dans la troisième dimension.



1. Proposer un modèle de cette structure et expliciter les conditions aux limites.
2. Utiliser le maillage standard, résoudre le modèle. Observer le potentiel électrique, les composantes du champ électrique  $E$ , le déplacement électrique  $D$ .
3. Raffiner automatiquement le maillage puis observer la solution et le maillage raffiné. Qu'observe t-on ? Représenter la direction locale du champ électrique (onglet Arrow). Sauver une image.
4. Calculer la charge sur chaque électrode (indication : utiliser Postprocessing : Boundary integration). En déduire la valeur de la capacité.
5. Augmenter la constante diélectrique de la couche mince d'un facteur 2. Comment change la capacité ?
6. Augmenter la largeur de la piste électrique supérieure d'un facteur 2. Comment change la capacité ?

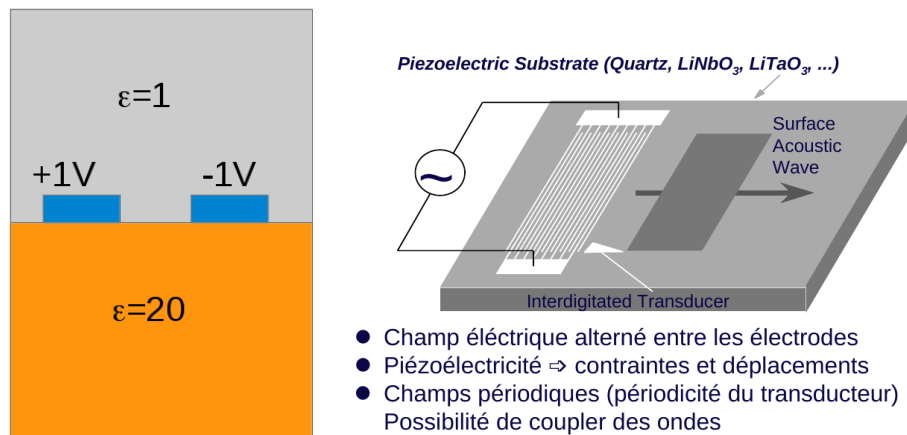
## 2 Capacité plane 2D

On considère une capacité plane réalisée par 2 pistes métalliques de  $1\ \mu\text{m}$  de large séparées de  $1\ \mu\text{m}$  (gap). Le composant fait  $10\ \mu\text{m}$  de large sur  $10\ \mu\text{m}$  de haut. Le substrat fait  $5\ \mu\text{m}$  d'épaisseur.



1. Proposer un modèle de cette structure et expliciter les conditions aux limites.
2. Résoudre le modèle, vérifier la convergence (raffiner si nécessaire). Représenter déplacement électrique (Surface) et champ électrique (Arrow). Sauver une image.
3. Tracer  $D_x$  et  $D_y$  à l'interface entre substrat et air/pistes. Décrire comment les charges électriques se distribuent. Expliquer par des arguments physiques cette distribution.
4. Calculer la charge sur chaque électrode. En déduire la valeur de la capacité.
5. Reprendre les questions précédentes en considérant un blindage tout autour du composant (toutes les faces extérieures sont métallisées).

### 3 Peigne interdigité 2D



On veut modéliser un peigne interdigité composé d'une succession périodique de pistes métalliques très longues et minces portées alternativement à  $+1V$  et  $-1V$ . La période de répétition est de  $2 \mu m$ , les pistes sont larges de  $1 \mu m$ . Les autres valeurs sont comme dans la section précédente. Il n'y a pas de métallisation autour de la structure (pas de blindage).

1. Proposer un modèle dans lequel on n'a besoin de mailler qu'une période du peigne interdigité. Expliciter les conditions aux limites périodiques associées.
2. Dessiner la structure, définir les constantes matériau. Définir les conditions aux limites périodiques (menu Physics) en faisant en sorte que les potentiels électriques soient égaux sur les frontières à gauche et à droite. (Nota : la procédure pour définir ces conditions aux limites périodiques est longue ; prenez patience!)
3. Résoudre le modèle, vérifier la convergence (raffiner si nécessaire). Représenter déplacement électrique (Surface) et champ électrique (Arrow). Sauver une image.
4. Tracer  $D_x$  et  $D_y$  à l'interface entre substrat et air/pistes. Décrire comment les charges électriques se distribuent. Expliquer par des arguments physiques cette distribution. Calculer la charge sur chaque électrode.
5. Proposer un modèle utilisant des conditions aux limites anti-périodiques et ne nécessitant que la moitié du maillage précédent. Reprendre toutes les questions précédentes et vérifier l'égalité des résultats.
6. Utiliser des polynômes de degré 5 au lieu du degré 2 par défaut. Voyez vous une différence sur la qualité de la solution ?

## 4 Tomographie d'impédance diélectrique 3D

On veut vérifier le principe suivant lequel on peut détecter des objets diélectriques enfouis en mesurant une densité surfacique de charge. On considère une couche mince diélectrique qui contient différents types "d'accidents" diélectriques. La couche mince a une épaisseur de  $2 \mu\text{m}$ , est métallisée sur ses 2 faces verticales et une différence de potentiel de  $1 \text{ V}$  est appliquée. Sa constante diélectrique relative vaut 5.

1. Dessiner la couche mince avec une surface de  $5$  par  $5 \mu\text{m}$ . enfouir différents objets diélectriques simples (pavé, cône, cylindre, sphère) en faisant varier le contraste avec la couche mince (utiliser par exemple  $\epsilon = 1; 3; 7; 20$ ). Donner leur des dimensions variées, notamment en épaisseur.
2. Mailler, résoudre, raffiner le maillage si nécessaire pour améliorer la convergence.
3. Représenter la densité de charge surface (onglet Boundary). Observer les objets enfouis et commenter la méthode.
4. Visualiser les lignes de champ électrique avec les Streamlines. Oter les faces latérales pour observer l'intérieur de la couche (Options : Suppress : Suppress Boundaries). Fixer l'échelle de couleur des streamlines à la valeur du potentiel et leur rayon à la valeur du champ électrique. Sauver une image (cf. exemple ci-dessous).

